

Министерство образования и науки Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Институт машиностроения
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

Р.С. Лучкин

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Электронное учебно-методическое пособие



УДК 621.791:624.014(074.8)

ББК 30,4

Рецензент:

д-р техн. наук, профессор Тольяттинского государственного
университета *В.П. Сидоров.*

Лучкин, Р.С. Проектирование сварных конструкций : электрон.
учеб.-метод. пособие / Р.С. Лучкин. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2017. –
1 оптический диск.

В пособии рассмотрены основные вопросы расчета и проектирования металлических сварных узлов и конструкций, особенности конструктивного оформления изделий. Предлагаются единые требования к структуре и оформлению курсового проекта по дисциплине «Проектирование сварных конструкций». Пособие содержит рекомендации по выбору конструкционных материалов, методик расчета и проектирования изделий. Приведены примеры расчетов и проектирования сварных соединений и узлов, образующих большинство машиностроительных конструкций.

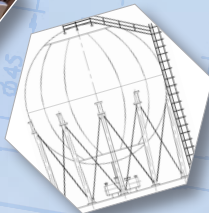
Предназначено для студентов бакалавриата по направлению «Машиностроение» (профиль «Оборудование и технология сварочного производства»).

Деривативное текстовое электронное издание; в основе использовано печатное издание: Лучкин, Р.С. Проектирование сварных конструкций : учеб.-метод. пособие по выполнению курсового проекта. Тольятти, ТГУ, 2008. 174 с.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2017



Редактор *О.И. Елисева*

Технический редактор *Н.П. Крюкова*

Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*

Художественное оформление,

компьютерное проектирование: *Г.В. Карасева, И.В. Карасев*

Дата подписания к использованию 26.04.2017.

Объем издания 8,3 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-108-15.

Издательство Тольяттинского государственного университета

445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,

тел. 8 (8482) 53-91-47, www.tltsu.ru

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
1. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	6
2. ВЫБОР МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	23
3. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ	34
4. ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН	44
5. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА СВАРНЫХ УЗЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ	47
5.1. Балочные конструкции	47
5.2. Сварные колонны (стойки)	71
Библиографический список	96
Приложение 1	97
Приложение 2	98
Приложение 3	100
Приложение 4	101
Приложение 5	102
Приложение 6	108
Приложение 7	118
Приложение 8	128
Приложение 9	145

ВВЕДЕНИЕ

Правильно выполненные расчеты позволяют выбрать оптимальный, экономичный вариант сварной конструкции, сократить продолжительность ее изготовления, с наименьшими затратами создать конструкции, удовлетворяющие требованиям эксплуатации.

Современные машиностроительные и строительные конструкции отличаются большим объемом сварных соединений и узлов, что позволяет говорить о важности их правильного проектирования и расчета. В настоящее время имеется много как теоретических, так и экспериментальных исследований прочности и устойчивости основных типов сварных соединений, на основе которых определены принципы оценки прочности этих соединений, разработаны соответствующие расчетные методики и нормы проектирования.

В практике расчетов и проектирования сварных узлов и конструкций принята определенная этапность выполнения работ. Предварительные, приближенные расчеты позволяют оценить правомерность исходных предположений, выбрать рациональный вариант конструкции с учетом приближенных значений нагрузок, конструктивных особенностей соединений отдельных узлов и всей конструкции, ограничений конструктивного, технологического и эксплуатационного характера. На второй стадии поверочных расчетов уточняются значения напряжений и перемещений сварных узлов, несущую способность расчетных сечений конструкции, запасы прочности и устойчивости.

Цель курсового проектирования – определение уровня теоретических знаний учащихся, выработка умения применять их для самостоятельного решения задач расчета и проектирования сварных соединений и узлов, приобретение навыков сбора, использования и обработки необходимой технической документации (нормативные материалы, ГОСТы и другие справочные данные).

1. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и иллюстративных материалов в виде отдельных схем и чертежей, выполненных в соответствии с современными требованиями.

Расчетно-пояснительная записка является основным документом курсового проекта, в котором приводится исчерпывающая информация о выполненных расчетах и конструкторских эскизах. Пояснительная записка должна соответствовать требованиям ГОСТ 2.105-95 и ГОСТ 2.106-96 или методическим указаниям на оформление текстовых документов.

Выполнять текст расчетно-пояснительной записки следует на одной стороне листа формата А4 (210×297 мм), отступив от верхнего и нижнего края страницы на 20–25 мм. Ширина чистого поля слева от текста – 30 мм, справа – 10 мм. Нельзя делать вставки и дополнения к тексту на обратной стороне листа.

Расчетно-пояснительная записка должна иметь **титульный лист**. Титульным листом называют начальный лист, на котором представляют фамилию и инициалы автора, полное название проекта, место и год выполнения и другие атрибуты (прил. 1). Расчетно-пояснительную записку подписывает студент, выполнивший проект, и руководитель проекта.

Аннотация выполняет, прежде всего, сигнальные функции и должна отвечать на вопрос, о чем говорится в расчетно-пояснительной записке. Аннотация содержит краткие сведения о содержании и назначении проекта, её выполняют на отдельном листе. Аннотация включает преимущественно предложения в форме страдательного залога, где сказуемое выражено возвратным глаголом («рассматривается», «обсуждается», «исследуется» и т. п.) или кратким страдательным причастием («рассмотрен», «исследован», «показан» и т. п.). Средний объем аннотации должен быть в пределах 500–1000 печатных знаков (включая пробелы между словами). Основные требования к аннотации содержит ГОСТ 7.9-95.

В начале записки необходимо привести содержание, указывающее наличие отдельных разделов и последовательность их изложения. Примерный состав и структура пояснительной записки

типового индивидуального курсового проекта по расчету и проектированию сварных конструкций приведены в прил. 2.

Во **введении** необходимо кратко изложить задание на проектирование, охарактеризовать современное состояние и общие направления решения задач проектирования в связи с заданной темой курсового проекта.

Во введении следует обосновать и четко сформулировать, в чем заключается актуальность разрабатываемой темы, ее значение для повышения эффективности производства.

Можно рекомендовать такую последовательность построения введения:

- основные направления научно-технического прогресса (НТП) в области машиностроения применительно к заданной конструкции;
- основные требования НТП к объекту производства (при проектировании и технологии его изготовления);
- состояние и перспективы развития сварочного производства рассматриваемой в проекте конструкции;
- основные задачи, решаемые в курсовом проекте.

В разделе **«Общая часть»** указывают наименование изделия, составляют техническое описание конструкции и технические условия на материал, из которого она изготавливается, приводят основные принципы конструктивно-технологического проектирования заданной конструкции.

Техническое описание конструкции в общем случае должно содержать; наименование конструкции, ее назначение, область применения, условия эксплуатации и их особенности, а также технические требования к изделию.

В **технических условиях** (ТУ) на основной материал должны быть указаны: наименование и марка материала конструкции; дополнительные требования к поставляемому материалу, предусмотренные стандартами или техническими условиями; химический состав и механические свойства материала.

При оценке свариваемости материала рекомендуется написать: *«Свариваемость материала обеспечивается технологией изготовления и соблюдением всех требований, предъявляемых к данному материалу по химическому составу и механическим свойствам».*

Для изготовления сварных конструкций используют полуфабрикаты, поставляемые металлургической промышленностью в виде листового, сортового и фасонного проката, труб, специальных поковок и отливок. В ТУ на основной материал конструкции приводятся виды заготовок и ТУ на заготовки в соответствии с принятыми стандартами.

Материалы должны быть химически- и коррозионно-стойкими в заданной среде при ее рабочих параметрах, обладать хорошей свариваемостью и соответствующими прочностными и пластическими характеристиками в рабочих условиях; допускать холодную и горячую механическую обработку, а также иметь возможно низкую стоимость и быть недефицитными.

Качество, химический состав и механические свойства материалов и полуфабрикатов должны удовлетворять требованиям соответствующих стандартов и ТУ и быть подтверждены сертификатами заводов-поставщиков.

Текст разделов отчета должен разделяться на подразделы, пункты.

Заголовки выполняют крупным шрифтом (возможно подчеркивание). Для текстов небольшого объема возможна также рубрикация с нумерованными заголовками. В таких случаях о соподчиненности заголовков судят по величине шрифта, которым они обозначены, или по их расположению.

Каждый **раздел** расчетно-пояснительной записки начинается с новой страницы под соответствующим порядковым номером, указанным в оглавлении. Разделы должны быть пронумерованы арабскими цифрами в пределах всей пояснительной записки. Введение, аналитический обзор нумеруются, как разделы. После номера раздела ставится точка. Главы обычно являются основным делением расчетно-пояснительной записки. Они нумеруются насквозь по всей пояснительной записке цифрами.

Подразделы следует нумеровать арабскими цифрами в пределах каждого раздела. Номер пункта должен состоять из номера раздела, номера подраздела и пункта, разделенных точкой. В конце номера точка не ставится, например: «2.1» (первый подраздел второго раздела) или «2.1.3» (третий пункт первого подраздела второго раздела). **Нумерация страниц** должна быть сквозной: первой страницей явля-

ется титульный лист, второй — аннотация, третьей — содержание (оглавление). На первой, второй и третьей страницах номер страницы не ставят.

Если в тексте записки содержатся рисунки и таблицы, которые располагаются на отдельных страницах, последние необходимо включать в общую нумерацию.

Текст расчетно-пояснительной записки следует делить на абзацы, т. е. на части, начинающиеся с красной строки. Абзацами следует выделять примерно равные и обособленные по смыслу части текста. В каждом абзаце должны содержаться положения, мысли, очень тесно связанные между собой, объединенные чем-то общим.

На протяжении всего текста надо строго соблюдать единообразие терминов, обозначений, условных сокращений и символов. Нельзя, например, в одном случае писать «шестерня», а в другом — «зубчатое колесо»; или, применив один раз термин «сферическая поверхность», в другом месте писать «шаровая поверхность» и т. д.

Следует избегать употребления иностранных слов и терминов без надобности.

Рекомендуется избегать неуместного употребления оборотов с местоимением «мы»: мы имеем, мы понимаем, мы получаем, мы наблюдаем и т. п. Описание трудов, исследований, опытов, как правило, не рекомендуется вести от собственного имени: я считаю, по моему мнению, мне кажется, мною установлено и т. д.

С трудом воспринимаются предложения очень длинные, громоздкие, даже если они не сложны по синтаксической структуре. Для большей ясности фразы нужно расчленять на несколько самостоятельных.

В тексте все слова, как правило, должны быть написаны полностью, за исключением союза *т. е.* (то есть), а также словосочетаний: *и т. д.* (и так далее), *и т. п.* (и тому подобное), *и др.* (и другие), *и пр.* (и прочие), которые обычно употребляют в конце фраз после перечислений.

Не допускаются такие сокращения, как:

т. к. — так как;

ур-ние — уравнение;

т. н. — так называемый;

ф-ла — формула;
т. о. — таким образом;
ок. — около;
т. ч. — так что;
н/заводе — на заводе;
п. ч. — потому что;
д/производства — для производства;
м. б. — может быть;
п/управлением — под управлением;
напр. — например.

Не допускаются сокращения, представляющие произвольное слияние слов или терминов, например:

рацпредложение — рационализаторское предложение,
спецтехнология — специальная технология,
техосмотр — технический осмотр,
металлоизделия — металлические изделия и т. д.

Тысячи, миллионы и миллиарды при цифрах в специальной литературе сокращаются: *тыс.*, *млн*, *млрд*. Например: 2 тыс., 5 млн, 10 млрд.

При ссылках на иллюстрации, таблицы и части текста с указанием их номера обязательны сокращения:

рис. — рисунок (например, рис. 2, рис. 5 и 6 и т. д.);
табл. — таблица (например, табл. 1, табл. 2 и 3 и т. д.);
разд. — раздел (например, разд. А, разд. 5 и т. д.);
гл. — глава (например, гл. 1, гл. II и т. д.);
с. — страница (например, с. 15, с. 12–20 и т. д.);

В тексте эти слова пишут полностью:

<i>Неправильно</i>	<i>Правильно</i>
Изображено на рис. 1	Изображено на рисунке 1
Данные этой табл. показывают	Данные этой таблицы показывают
В предыдущем разд. рассмотрены	В предыдущем разделе рассмотрены

В марках материалов буквенные сокращения и цифровые значения пишутся слитно. Например, магниевый литейный сплав МЛ5, алюминиевый сплав магнилий АМг6.

В ссылках на иллюстрации и таблицы, отдаленные от того текста, где они упоминаются, рекомендуется помещать сокращение «см.» (смотри), например: *см. рис. 5, см. табл. 4, см. разд. А* и т. д.

Цитаты из сочинений других авторов или официальных документов следует воспроизводить точно, с сохранением всех особенностей подлинника. Любую цитату необходимо сопровождать ссылкой с указанием фамилии и инициалов автора источника, полного и точного названия книги, издательства, года издания и страницы. Выделяются цитаты в тексте кавычками.

Цифровой материал, помещенный в расчетно-пояснительной записке, рекомендуется оформлять в виде таблиц при количестве строк более одной. **Таблица** должна содержать ответы минимум на четыре вопроса: что, когда, где, откуда. В таблицах часто приводят обширный цифровой материал с большим числом строк и граф и со сложным строением и соподчинением их заголовков. Такие таблицы трудно усваиваются. Поэтому, перед тем как помещать какой-либо материал в виде таблицы, рекомендуется прежде всего обдумать вопрос о том, нельзя ли представить этот материал в более наглядной и более удобной форме, например, в форме графиков, схем, диаграмм, эмпирических формул, или, наконец, просто указать пределы, в которых колеблются приводимые в таблице данные.

Все таблицы должны быть снабжены сквозной нумерацией арабскими цифрами (знак № перед цифрой не ставится). Номер таблицы пишут слева без абзацного отступа над таблицей, название таблицы располагают в одну строчку с ее номером через тире, например: *Таблица 3.1 – Оценка прочности сварных соединений*. Сокращать слово «Таблица» в заголовке не допускается. Таблицы могут нумероваться последовательно в пределах раздела (главы).

Таблицы, как правило, снабжают текстовыми содержательными заголовками, которые располагают в одну строчку с ее номером через тире. Заголовки пишут с прописной буквы без точки на конце. Однако таблицы второстепенного, вспомогательного характера, к которым повторно не обращаются, можно не озаглавливать.

Таблицу следует помещать после первого упоминания о ней в тексте, допускается представлять таблицы на следующей после ссылки странице.

Для математических обозначений рекомендуется употреблять наиболее простые символы и индексы. Условные буквенные обозначения механических, физических, химических и математических величин должны точно соответствовать стандартам.

Математические знаки следует применять лишь в формулах. В тексте их надо писать словами. Например:

<i>Неправильно</i>	<i>Правильно</i>
Температура = 2800 °С.	Температура равна 2800 °С.
При содержании серы >0,15 % чугуна становится тугоплавким.	При содержании серы более 0,15 % чугуна становится тугоплавким.

Исключения составляют знаки «+» и «-» в сопровождении цифр. Например: *Температура изменяется от +20 до -150 °С.*

Не допускается употребление в тексте символов и условных буквенных обозначений без словесной расшифровки. Например:

<i>Неправильно</i>	<i>Правильно</i>
t° повышается на 500	Температура t° повышается на 500

Знаки 0, №, §, %, lg, sin, Σ , \int , \emptyset , Δ и т. д. применяют только при цифровых или буквенных величинах, в тексте их пишут словами. Например:

<i>Неправильно</i>	<i>Правильно</i>
№ таблицы ставят вверх в предыдущем § в этот Δ ...	Номер таблицы ставят вверх в предыдущем параграфе в этот треугольник...

В тех случаях, когда перечисленные выше знаки стоят при цифровых или буквенных величинах, не допускается ни эти знаки, ни цифровые или буквенные величины писать словами. Например:

<i>Неправильно</i>	<i>Правильно</i>
В опыте номер 8	В опыте № 8
В опыте № восемь	В опыте № 8
sin угла α	sin α
синус α	sin α

Числа до десяти не при размерностях рекомендуется писать в тексте словами, свыше десяти — цифрами. Дроби пишут всегда цифрами. Например:

Не рекомендуется

Отметим на кривой 3 точки
Уменьшился на одну пятую часть

Рекомендуется

Отметим на кривой три точки
Уменьшился на $1/5$ часть

При дробных числах наименования согласуются с дробью. На-
пример:

Неправильно

3,5 частей, 1,5 часов

Правильно

3,5 части, 1,5 часа

При изложении математических выводов следует избегать вы-
ражений *будем иметь, имеется, имеем, будет, получится, выразится
в виде, будет иметь вид*. Лучше употреблять слова *получаем, находим,
определяем, преобразуется* и т. д.

Формулы располагают на середине строки, а связывающие их
слова (следовательно, откуда, и, так как и т. п.) — в начале строки.

После окончательных выводов и формул помещают перечень
всех примененных в формулах символов с расшифровкой их зна-
чения и указанием их размерностей. После расшифровки каждого
символа ставят точку с запятой; буквенное обозначение единиц из-
мерения физических величин отделяют от текста запятой. Особое
внимание необходимо обратить на применение в расчетах одной
системы единиц, чтобы исключить ошибки. Значения символов и
числовых коэффициентов должны приводиться непосредственно
под формулой с новой строки в той последовательности, в какой
они даны в формуле. Первая строка расшифровки должна начи-
наться со слова «где» без двоеточия после него.

Размерность после формулы (если она необходима) в скобки не
заключают, а отделяют от нее пробелом. Знак препинания, относя-
щийся к формуле, в этом случае ставят после размерности.

Переносы формул на другую строку допускаются на знаках ра-
венства, умножения, сложения, вычитания и на знаках соотноше-
ния ($>$, $<$, \leq , \geq и т. д.). Не допускаются переносы на знаке деления
($:$). В случае переноса множителей знак умножения обозначают кре-
стом (\times). Знак, на котором сделан перенос формулы, пишут два раза
— в конце первой и в начале второй строки.

Не допускается в пределах одного проекта обозначать одина-
ковыми буквенными символами разные понятия, равно как и раз-

ными символами одинаковые понятия. Чтобы исключить совместное присутствие одинаковых символов в одном и том же тексте, следует использовать запасные обозначения (табл. 1.1) либо подстрочные индексы.

Не допускается одновременное применение в одном тексте русских и международных обозначений единиц физических величин.

В обозначении единиц точку как знак сокращения не ставят: 20 с, 15 м, 45 К и т. д.

Обозначение единиц следует применять после числовых значений физических величин, оставляя между ними интервал, и помещать в одну строку без переноса на следующую строку: 120 кДж, 17 г/см³, 70 МПа и т. д.

Таблица 1.1

Обозначения некоторых физических величин и их единиц

Физическая величина	Обозначение	Единица		
		Наименование	Обозначение	
			русское	международное
Высота	h	метр	м	m
Длина	l	метр	м	m
Диаметр	d	метр	м	m
Давление	p	паскаль	Па	Pa
Масса	m	килограмм	кг	kg
Объем	V	кубический метр, литр (10 ⁻³ м ³)	м ³ , л	м ³ , L
Плотность	ρ	грамм на кубический сантиметр	г/см ³	g/sm ³
Площадь	S, A	квадратный метр	м ²	m ²
Сила	F, P	Ньютон	Н	N
Температура	T, t	Кельвин, градус Цельсия	К, °С	К, °С

Частное от деления двух единиц может быть представлено любым из способов: м/с, м·с⁻¹ и м:с. Однако в одном выражении не должно быть более одного знака наклонной черты « / ». Например, нельзя писать Дж/К/моль, а следует Дж/(моль·К) или Дж·моль⁻¹·К⁻¹. В знаменателе произведение двух и более единиц заключают в скобки: Дж/(моль·К) или Вт/(К·м²).

Для данной физической величины всегда следует использовать один и тот же термин и один и тот же символ независимо от применяемых единиц. Недопустимо применение сокращенных терминов в тех случаях, когда может быть потеряна смысл термина. Например, если слово «плотность» принято в качестве термина для массы, деленной на объем, то этот термин не должен применяться в качестве сокращенного названия оптической плотности.

Не допускается применение обозначений единиц в одной строке с формулами, выражающими зависимость между физическими величинами, представленными в буквенной форме. Например, не рекомендуется запись

$$\rho_B = \frac{m_B}{V_B} \text{ г} \cdot \text{мл}^{-1}.$$

Следует записать:

$$\rho_B = \frac{m_B}{V_B},$$

где ρ_B — плотность, г/мл; m_B — масса вещества В, г; V_B — объем вещества В, мл.

При указании значений физических величин с доверительным интервалом обозначение единицы помещают после скобок: (150,2±0,3) Па; (25±1) °С; (14±2) г. Нельзя записывать: 25,0±1 г или 150,2±0,3 Па.

Не допускаются такие сочетания, как 100 кв. м, вместо 100 м² или 15 куб. см вместо 15 см³. Нельзя комбинировать буквенные обозначения и наименования единиц. Неправильно 45 Дж на моль; надо 45 Дж/моль.

Понятия и термины «масса» и «вес» разделены. Понятие веса, которое раньше отождествляли с понятием массы, теперь используют только как понятие силы, возникающей при взаимодействии тела с гравитационным полем. Нельзя записывать и говорить «вес изделия 100 кг», следует: «масса изделия 100 кг».

Рекомендуется двойная нумерация формул, на которые имеются ссылки в тексте: первая цифра обозначает номер раздела, вторая (после точки) — номер формулы. Формулы должны нумероваться в пределах раздела арабскими цифрами. Номер формулы проставляют в круглых скобках с правой стороны листа на уровне формулы, например:

$$\sigma_{\max} = M/W \leq [\sigma], \quad (1.1)$$

где σ_{\max} — расчетное нормальное напряжение, МПа; M — изгибающий момент, Н·мм; W — момент сопротивления, мм³; $[\sigma]$ — допускаемое напряжение, МПа.

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими государственными стандартами.

Все величины, принятые в расчетах, должны иметь ссылку на литературный источник, по которому они приняты.

Для пояснения отдельных расчетов в пояснительной записке выполняют **схемы и рисунки**. Количество иллюстраций, помещенных в записку, определяется её содержанием и должно быть достаточным для того, чтобы придать излагаемому тексту ясность и конкретность.

Все иллюстрации (фотографии, схемы, чертежи и пр.) именуется рисунками. Рисунки нумеруются последовательно сквозной нумерацией или в пределах раздела (главы) арабскими цифрами. Номер рисунка должен состоять из слова «Рисунок» и порядкового номера рисунка, например: *Рисунок 1.2 — Общий вид и сечение главной балки*.

Рисунки следует отделять от текста двумя интервалами перед рисунком и после него (его наименования).

Для изображения элементов металлических конструкций применяют только прямоугольные (ортогональные) проекции. Расположение проекций на чертежах принимают следующим: вид сверху — выше, вид снизу — ниже, виды справа и слева — соответственно справа и слева от основной проекции. Названия видов, расположенных в принятом для них положении, не приводят. Элементы конструкций, как правило, изображают в рабочем положении, т. е. соответственно положению в готовом сооружении. Исключения из этого правила составляют вертикальные элементы большой длины (колонны, стойки), располагаемые на чертеже горизонтально (базой справа) при невозможности изобразить их в рабочем положении.

Для изображения элементов конструкций рекомендуется применять масштабы 1:10; 1:15; 1:20; 1:25. Для изображения решетчатых конструкций разрешается применять два масштаба: меньший (1:15; 1:20; 1:25) для геометрической схемы; больший (1:10; 1:15; 1:20) — для сечений стержней и деталей.

Для изображения длинных сплошных элементов (колонны, балки) разрешается применять по длине элементов произвольный масштаб при условии соблюдения пропорциональности и соответствия при взаиморасположении креплений, проекций и разрезов.

Основной проекцией (видом) для наклонного элемента принято считать проекцию характерной плоскости, для остальных элементов — проекцию плоскости, имеющей наибольшие размеры (например, длина и ширина, ширина и высота и т. п.).

На разрезах показывают только те детали, которые находятся непосредственно за секущей плоскостью.

Не допускается поворот разрезов на 90° без дополнительных оговорок.

В элементах, имеющих сложное сечение, некоторые швы, отверстия, а иногда и отдельные детали получаются закрытыми. В таких случаях для их показа выполняют условный вырыв.

В местах, где неудобно или невозможно показать разрез, пользуются видом по стрелке.

Каждый рисунок должен сопровождаться содержательной подписью.

Все иллюстрации, помещаемые в записку, должны быть органически связаны с текстом. Нельзя включать в пояснительную записку иллюстрации, не соответствующие излагаемой теме, не связанные с текстом или повторяющие одна другую.

Согласно ГОСТ 2.106-96 **спецификация** является основным конструкторским документом и представляет собой текстовый документ, определяющий состав изделия, состоящего из двух и более частей.

Спецификацию составляют на каждую сборочную единицу на отдельных листах формата А4 по специальной форме и размещают в расчетно-пояснительной записке.

Список литературы должен быть оформлен согласно ГОСТ 7.1-2003 и приведен в конце расчетно-пояснительной записки. Источ-

ники следует располагать по алфавиту или в порядке появления ссылок в тексте на отдельной странице (или нескольких страницах). Не разрешается делать ссылки на неопубликованные работы; в ссылках на авторские свидетельства и патенты указывается, кроме того, индекс МКИ. Библиографические описания источников даются на языке издания.

Ссылку на литературный источник в тексте сопровождают порядковым номером, под которым этот источник включен в указатель. В тексте пояснительной записки допускаются ссылки на стандарты, технические условия и справочную литературу, которые обозначают порядковым номером списка источников, заключенным в квадратные скобки, например, [25]. Ссылаться следует на документ в целом, при ссылках на стандарты и технические условия указывают только их обозначения.

Число поправок (исправлений отдельных знаков, букв, слов текста) должно быть не более пяти на одной странице, при этом исправляемые буквы, знаки, слова должны быть зачеркнуты.

Приложения оформляют как продолжение данной работы на последующих ее листах.

По ГОСТ 7.32-2001 в тексте проекта на все приложения должны быть даны ссылки. Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения.

Приложения обозначают прописными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь. Например: *ПРИЛОЖЕНИЕ А*.

Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Условное буквенно-цифровое обозначение стандартного шва имеет вид: С1, С2, С3, ... для стыковых сварных соединений; У1, У2, У3, ... для угловых соединений; Н1, Н2, Н3, ... для нахлесточных соединений; Т1, Т2, Т3, ... для тавровых сварных соединений.

Структура условного обозначения шва или одиночной сварной точки приведена на рис. 1 и в табл. 1.2.

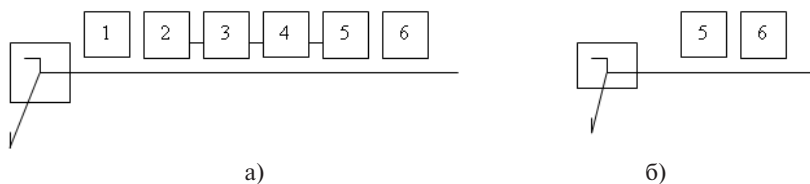


Рис. 1. Структура условного обозначения сварного шва:
a – стандартного; *б* – нестандартного (обозначения в табл. 1.2)

Например, обозначение стандартного сварного шва ГОСТ 14806-80 Т5–Р_н3–6△–50z100 расшифровывается так: шов таврового соединения, без скоса кромок, прерывистый с шахматным расположением элементов, выполненный ручной дуговой сваркой в защитном газе неплавящимся металлическим электродом; катет сечения шва – 6 мм; длина каждого проваренного участка – 50 мм, шаг – 100 мм.

После вспомогательных знаков, если указана последующая механическая обработка шва, ставят обозначение шероховатости поверхности обработанного шва.

Условные изображения и обозначения на чертежах швов сварных соединений устанавливает ГОСТ 2.312-72 (табл. 1.3–1.5). Чертежи сварных деталей оформляют, как чертежи сборочных единиц.

Таблица 1.2

Обозначения швов сварных соединений (рис. 1)

№ (рис. 1)	Пояснение	Пример обозначения на чертежах
1	Обозначение стандарта на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений	ГОСТ 14806-80
2	Буквенно-цифровое обозначение шва по стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений	Н2
3	Условное обозначение способа сварки	Р _н 3
4	Знак △ и размер катета по стандарту ГОСТ 2.312-72	△6
5	Длина провариваемого участка, вспомогательный знак, обозначающий сварной шов и шаг: а) для прерывистого шва – длина; б) для цепного шва – размер катета по стандарту (см. п. 4);	50z100

№ (рис. 1)	Пояснение	Пример обозначения на чертежах
	в) для одиночной сварной точки, для контактной точечной сварки (первая цифра), для электрозаклепки – расчетный диаметр точки; г) для роликовой сварки – размер катета и шаг (вторая цифра), для контактной точечной сварки – шаг (вторая цифра)	
6	Обозначение вспомогательных знаков	





Условные обозначения основных способов сварки: Р – ручная дуговая (штучным электродом); ЭЛ – электронно-лучевая; Ф – дуговая под слоем флюса; ПЛ – плазменная и микроплазменная; УП – сварка в активном газе (или смеси активного и инертного газов плавящимся электродом); ИП – сварка в инертном газе плавящимся электродом; ИН – сварка в инертном газе неплавящимся электродом; Г – газовая.

Для сварки металлических конструкций применяют: электроды для ручной дуговой сварки по ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9567-75, ГОСТ 10052-75; сварочную проволоку по ГОСТ 2246-70, ГОСТ 26271-84, ГОСТ 7871-75.

Согласно ГОСТ 19521-74 существующие способы сварки сгруппированы в три класса и 24 вида, входящие в них, каждый из которых включает ряд конкретных способов. Определения способов сварки указаны в ГОСТ 2601-84.

Таблица 1.3

Обозначения сварных швов

Особенность шва	Условный знак
Прерывистый с цепным расположением участков	
Прерывистый с шахматным расположением	
Монтажный	
По замкнутому контуру	






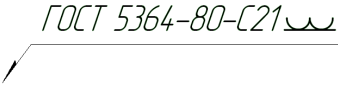


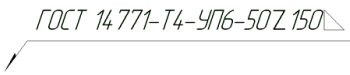
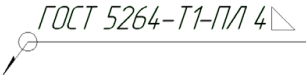
Особенность шва	Условный знак
По незамкнутому контуру	
Со снятой выпуклостью (усилением)	
Шов, имеющий местную обработку с плавным переходом к основному металлу	

Таблица 1.4

Примеры обозначения сварных швов

Характеристика шва	Пример обозначения
Стыковой односторонний на остающейся подкладке, со скосом двух кромок, выполненный дуговой сваркой покрытыми электродами	
Стыковой двусторонний, с криволинейным скосом двух кромок, выполненный дуговой сваркой покрытыми электродами	
Стыковой двусторонний, с двумя симметричными скосами двух кромок, выполненный дуговой сваркой покрытыми электродами. Участки перехода от шва к основному металлу дополнительно обработаны	
Стыковой односторонний, со скосом двух кромок, по замкнутому контуру. Выпуклость шва снята механической обработкой	
Шов углового соединения односторонний со скосом двух кромок, монтажный. Выпуклость шва снята механической обработкой	
Шов таврового соединения невидимый односторонний, выполненный дуговой сваркой в углекислом газе плавящимся электродом. Шов прерывистый. Катет шва 6 мм, длина провариваемого участка 50 мм, шаг 150 мм	
Шов таврового соединения, двусторонний без скоса кромок, выполненный плазменной сваркой по замкнутому контуру. Катет шва 4 мм	



Характеристика шва	Пример обозначения
Стыковой двусторонний, с двумя симметричными скосами двух кромок, выполненный ручной дуговой сваркой. Обозначение упрощенное, если стандарт указан в примечаниях чертежа	
Упрощенное обозначение при наличии на чертеже одинаковых швов и при указании обозначения у одного из них за № 1	

Таблица 1.5

Примеры буквенно-цифрового обозначения швов

ГОСТ	Наименование ГОСТа	Тип соединения	Буквенно-цифровое обозначение швов
5264-80	Ручная дуговая сварка. Соединения сварные	Стыковое Угловое Тавровое Нахлесточное	C1–C45 У1–У10 Т1–Т9 Н1–Н2
14771-76	Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные	Стыковое Угловое Тавровое Нахлесточное	C1–C27 У1–У10 Т1–Т9 Н1–Н4

2. ВЫБОР МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Разнообразные условия эксплуатации сварных соединений, узлов и конструкций вызывают необходимость рационального выбора материалов применительно к своеобразным условиям работы сооружений.

Все применяемые в промышленности марки стали могут быть классифицированы по различным признакам в зависимости от химического состава, назначения и способа производства.

По химическому составу различают две основные группы стали: углеродистую и легированную.

Внутри каждой группы сталь может быть классифицирована по назначению и способу производства.

По назначению различают три основные группы: сталь конструкционная, инструментальная и сталь с особыми физико-химическими свойствами.

Конструкционная и инструментальная сталь по химическому составу может быть как углеродистая, так и легированная. Сталь с особыми физико-химическими свойствами — это легированная сталь.

По способу производства различают сталь обыкновенного (табл. 2.1) и повышенного качества, качественную (табл. 2.2) и высококачественную.

Согласно СНиП II-V.3 стали для строительных конструкций сгруппированы по классам прочности. Цифры в индексе класса обозначают: числитель — минимальную величину по ГОСТ временного сопротивления на разрыв, знаменатель — минимальную величину по ГОСТ предела текучести (табл. 2.3).

Сталь углеродистая обыкновенного качества (ГОСТ 380-2005) подразделяется на три группы: группа А — стали марок Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6; группа Б — стали марок БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт4, БСт5; группа В — стали марок ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5. Согласно СНиП II-23-81 для сварки конструкций используются только стали группы В с номером марки 3 (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Характеристика сталей углеродистых обыкновенного качества

Марка	Массовая доля углерода, %	Предел прочности, МПа
ВСт3кп	0,14...0,22	360...460
ВСт3пс		370...480
ВСт3сп		380...500
ВСт3Гпс		370...490
ВСт3Гсп		390...570
кп – кипящая, пс – полуспокойная, сп – спокойная, Г – с содержанием марганца до 1 %		

Таблица 2.2

Сталь углеродистая качественная конструкционная
(ГОСТ 1050-88)

Марка	Массовая доля углерода, %	Предел прочности, МПа	Марка	Массовая доля углерода, %	Предел прочности, МПа
05кп	Не более 0,06	320	15Г	0,12...0,19	410
08кп, 08	0,05...0,12	330	20Г	0,17...0,24	430
10кп, 10	0,07...0,14	340	25Г	0,22...0,30	460
15кп, 15	0,12...0,19	380	30Г	0,27...0,35	540
20кп, 20	0,17...0,24	420	35Г	0,32...0,40	600...720
25	0,22...0,30	460	40Г	0,37...0,45	790...820
30	0,27...0,35	470	45Г	0,42...0,50	780...1310
35	0,32...0,40	530			
40	0,37...0,45	570			
45	0,42...0,50	600			

Допускаемые напряжения для распространенных марок сталей приведены в табл. 2.4.

Физические свойства сталей представлены в табл. 2.5 и 2.6.

В сварных конструкциях применяют в основном прокатную листовую (табл. 2.7–2.9), профильную сортовую (круг, квадрат, полоса, уголки) и фасонную (двутавры, швеллеры и др.) сталь.

Нормативные сопротивления по пределу текучести R_{yn} и нормативные сопротивления по временному сопротивлению R_{un} стального проката приведены в табл. 2.10.

Таблица 2.3

Классы прочности стали и соответствующие им марки

Категория стали	Марка стали	Класс стали	Механические свойства при растяжении, не менее		
			σ_B , кгс/см ² (МПа)	σ_T , кгс/см ² (МПа)	δ_5 , %
Обычной прочности	Ст3пс Ст3сп Ст3Гпс 18Гпс М16С	C38/23	3800 (380)	2300 (230)	25
Повышенной прочности	09Г2С 09Г2	C44/29	4400 (440)	2900 (290)	21
	09Г2С 14Г2 10Г2С1 15ХСНД	C46/33	4600 (460)	3300 (330)	21
	10Г2С1 10ХСНД 14Г2АФ 18Г2АФпс 15Г2СФ	C52/40	5200 (520)	4000 (400)	19
Высокой прочности	15ХСНД 16Г2АФ 18Г2АФпс 15Г2СФ	C60/45	6000 (600)	4500 (450)	16
	12Г2СМФ 14ГСМФР	C70/60	7000 (700)	6000 (600)	12
	15ХГ2СМФР	C85/75	8500 (850)	7500 (750)	10

Примечание. Стали классов C52/40 – C85/75 поставляются в термически упрочненном состоянии.

Основными требованиями, предъявляемыми к стали для резервуаров, являются достаточная прочность, хорошая свариваемость и пластичность как при нормальных, так и при низких температурах, а также малая чувствительность к старению.

Марка стали для изготовления деталей резервуаров выбирается с учетом конструкции резервуара, его емкости, технологии изготовления и климатических условий эксплуатации (прил. 9, рис. 9.2). Для корпусов и днищ цилиндрических резервуаров емкостью менее 700 м³ применяется сталь марки ВСт3кп.

Таблица 2.4

Допускаемые напряжения для углеродистых
и низколегированных сталей (ГОСТ 14249-89)

Расчетная температура, °С	Допускаемое напряжение $[\sigma]$, МПа, для сталей марок								
	Ст3		09Г2С, 16ГС		20, 20К		10	10Г2С1, 09Г2	17ГС, 17Г1С, 10Г2С1
	Толщина, мм								
	<20	>20	<32	>32	<160				
20	154	140	196	183	147	130	180	183	
100	149	134	177	160	142	125	160	160	
150	145	131	171	154	139	122	154	154	
200	142	126	165	148	136	118	148	148	
250	131	120	162	145	132	112	145	145	
300	115	108	151	134	119	100	134	134	

Примечание. При расчетных температурах ниже 20 °С допускаемые напряжения принимают такими же, как при 20 °С, при условии допустимого применения материала при данной температуре.

Таблица 2.5

Коэффициенты линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, °С⁻¹ (ГОСТ 14249-89)

Марка стали	Расчетная температура T , °С				
	20–100	20–200	20–300	20–400	20–500
Ст3, 20, 20К	11,6	12,6	13,1	13,6	14,1
09Г2С, 16ГС, 17ГС, 17Г1С, 10Г2С1, 10Г2	13,0	14,0	15,3	16,1	16,2
15ХМ, 12МХ, 15Х5М	11,9	12,6	13,2	13,7	14,0

Таблица 2.6

Расчетные значения модуля продольной упругости в зависимости от температуры (ГОСТ 14249-89)

Сталь	Значения модуля $E \cdot 10^{-5}$, МПа, при T , °С						
	20	100	150	200	250	300	350
Углеродистая и низкоуглеродистая	1,99	1,91	1,86	1,81	1,76	1,71	1,64
Жаропрочная и жароустойчивая аустенитная	2,00	2,00	1,99	1,97	1,94	1,90	1,85
Теплоустойчивая и коррозионно-стойкая хромистая	2,15	2,15	2,05	1,98	1,95	1,90	1,84

Таблица 2.7

Сталь широкополосная универсальная (по ГОСТ 82-70)

Толщина, мм	(4), 6, (7), 8, (9), 10, (11), 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 36, 40, 45, 50, 55, 60
Ширина, мм	200, (210), 220, 240, 250, (260), 280, 300, (320), (340), 360, 380, 400, 420, 450, 480, 500, (530), 560, 600, 630, 650, 670, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1050

Примечания.

1. В скобках указаны нерекомендуемые размеры листов.
2. Листы толщиной 6 мм, а также шириной менее 300 мм при любой толщине можно применять только по предварительному согласованию со сбытовыми организациями.

Таблица 2.8

Сталь прокатная широкополосная универсальная по ГОСТ 82-70

Ширина, мм	Толщина, мм
160; 170; 180; 190; 200; (210); 220; 240; 250; (260); 280; 300	От 4 до 12 мм через 1 мм; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 60
(320); (340)	От 5 до 12 мм через 1 мм; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 60
360; 380; 400; 420; 450; 480; 500; (530); 560; 600; 630; 650; 670; 710; 750; 800; 850; 900; 950; 1000; 1050	От 6 до 12 мм через 1 мм; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 60

Примечания.

1. В скобках указаны нерекомендуемые размеры листов.
2. Листы толщиной 6 мм, а также шириной менее 300 мм при любой толщине можно применять только по предварительному согласованию со сбытовыми организациями.

Таблица 2.9

Сталь прокатная толстолистовая (выборка из ГОСТ 5681-57), мм

Толщина листа	Ширина листа	Длина листа
4; 4,5	600; 700; 1000; 1250; 1400; 1500; 1600	2000; 2500; 2800; 3500; 4500; 5000; 6000
5; 5,5	1250; 1400; 1500; 1600	2500; 2800; 3000; 3500; 4500; 5000; 5500; 6000
6; 7	1250; 1400; 1500; 1600; 1800	2800; 3500; 4500; 5000; 5500; 6000; 7000
8; 9; 10; 11	1250; 1400; 1500; 1600; 1800; 2000; 2200 (кроме толщины 8 мм)	То же
12; 14; 16; 18; 20	1400; 1500; 1600; 1800; 2000; 2200; 2300	4500; 5000; 5500; 6000; 7000; 8000

Толщина листа	Ширина листа	Длина листа
22; 25; 28; 30; 32	1400; 1500; 1600; 1800; 2000; 2200; 2400	То же
36; 40	1500; 1600; 1800; 2000; 2200; 2500	То же

Таблица 2.10

Нормативные и расчетные сопротивления стального проката

Марка стали	Прокат	Толщина, мм	ГОСТ или ТУ на поставку	Нормативное сопротивление, МПа		Коэффициент надежности по материалу γ_m	Расчетное сопротивление, МПа	
				R_{yn}	R_{in}		R_y	R_u
18кп	Листовой	4–20,	ГОСТ 23570-79	225	365	1,025	220	355
		21–40		215	365		210	355
18пс		4–16		235	370		230	360
18сп		4–20		235	370		230	360
ВСт3кп2-1	Листовой	4–10,	ТУ 14-1- 3023-80	225	355	1,025	220	345
		11–20		215	345		210	335
ВСт3пс6-1		4–10,		235	365		230	355
		11–20		235	355		230	345
ВСт3сД-1		4–10,		245	365		240	355
		11–20		235	365		230	355
Вст3кп, ВСт3пс, ВСт3сп ВСт3кп Вст3пс4, ВСт3сп4	Труба	10	ГОСТ 10705-80 ГОСТ 10706-76	225	370	1,05	215	350
		4–15		235	365		225	350
		4–15		245	370		235	350
09Г2 гр.1	Листовой	4–10,	ТУ 14-1- 3023-80	315	450	1,025	305	440
		11–20		305	440		290	430
09Г2С гр.1		4–10,		345	490		335	480
		11–20		325	470		315	460
10Г2С1	Листовой	4, 5–9, 10–20	ГОСТ 19282-73	355 345	490 490	1,05	340 330	465 465
15ХСНД	Листовой	4–32	ГОСТ 19282-73	345	490	1,05	330	465
10ХСНД	Листовой	4–32	ГОСТ 19282-73	390	530	1,1	355	480

Для изготовления корпуса, днища и кольца жесткости вертикальных цилиндрических резервуаров емкостью 700...5000 м³, сооружаемых в районах, где температура воздуха бывает не ниже –20 °С,

применяется мартеновская спокойная сталь обыкновенного качества марки ВСт3 с гарантированной ударной вязкостью при температуре -20°C . В районах с более низкими температурами (-40°C и ниже) применяется спокойная сталь марки МСт3 улучшенного раскисления (ЧМТУ 5232-55) или хорошо раскисленная сталь марки ВСт3 с гарантированной ударной вязкостью при температуре -40°C .

У резервуаров емкостью 10000 м^3 нижний пояс корпуса изготавливается из низколегированной стали (09Г2С, 14Г2 и др.) с гарантированной ударной вязкостью при температуре эксплуатации -20°C и ниже, верхние пояса корпуса, днище и кольцо жесткости изготавливаются из мартеновской спокойной стали марки Ст3 улучшенного раскисления (ЧМТУ 5282-55) или ВСт3.

Таблица 2.11

Расчетные сопротивления сварных соединений
в конструкциях из стали

Сварные соединения	Напряженное состояние	Условное обозначение	Расчетные сопротивления (кгс/см ²) сварных соединений в конструкциях из стали класса					
			С38/23	С44/29	С46/33	С52/40	С60/45	С70/60
Встык	Сжатие	R_C^{CB}	2100	2600	2900	3400	3800	4400
	Растяжение: а) автоматическая сварка; механизируемая и ручная сварка с физическим контролем качества швов б) механизированная и ручная сварка	R_p^{CB}	2100 (2600)	2600 (3000)	2900 (3100)	3400	3800	4400
		R_p^{CB}	1800	2200	2500	—	—	—
Угловые швы	Срез	R_y^{CB}	1500	1800	2000	2200	2400	2800
Встык	Срез	R_{CP}^{CB}	1300	1500	1700	2000	2300	2600

Примечания.

1. В скобках указаны расчетные сопротивления растяжению сварных соединений встык, эксплуатация которых возможна и после достижения металлом предела текучести.
2. Сварные соединения всех видов должны подвергаться визуальному контролю качества швов (наружный осмотр, измерение швов), а физический контроль качества шва (рентгено- и гаммаграфирование, ультразвуковая дефектоскопия, магнитографический способ) является дополнением к визуальному.

3. Для элементов из стали разных классов расчетное сопротивление сварного соединения встык принимается равным расчетному сопротивлению соединения встык из менее прочной стали.
4. Расчетные сопротивления сварных соединений встык установлены для швов, выполненных двусторонней сваркой или односторонней с подваркой корня шва.

Для изготовления нижних поясов резервуаров емкостью свыше 10000 м³ рекомендуется независимо от климатических условий применять низколегированные стали марок 09Г2С, 14Г2 и др.

Для нижнего пояса корпуса резервуаров емкостью 30000 м³ и более рекомендуется применять термически упрочненные низколегированные стали.

Для изготовления кровли вертикальных цилиндрических резервуаров, несущих конструкций покрытия (центральной стойки, колонн и др.), а также лестниц ограждения применяется сталь марок ВСтЗкп или ВСтЗпс.

Для настила площадок и ступеней лестниц допускается применять сталь марки МСт0.

К сталям, применяемым при изготовлении газгольдеров, предъявляются такие же требования, как и для резервуаров.

Листовая оболочка газгольдеров емкостью 700...3000 м³ (корпус, крышка и днище толщиной от 4 мм и более) изготавливается из спокойной стали ВСтЗ. При отрицательных температурах эксплуатации газгольдеры изготавливаются из стали ВСтЗ с гарантированной ударной вязкостью при соответствующей отрицательной температуре. Для газгольдеров емкостью менее 700 м³, сооружаемых в районах с температурой воздуха не ниже -30 °С применяется сталь марки ВСтЗкп.

Для газгольдеров емкостью 3000 м³ и более листовая оболочка нижнего пояса корпуса изготавливается из низколегированной стали марок 15ХСНД и 14Г2. Верхняя часть газгольдера – из спокойной стали ВСтЗ. Для лестниц, обслуживающих площадки газгольдеров, а также для несущих элементов газгольдеров (стоек, стропил, распорок и прочих элементов) применяется сталь ВСтЗкп.

При выборе алюминиевых сплавов для сварных конструкций следует иметь в виду, что изделия из нагартованных материалов получают значительно более деформированными, чем из отожженных.

Из группы деформируемых алюминиевых сплавов, не упрочняемых термической обработкой, наибольшее распространение нашли сплавы алюминия с марганцем и магнием.

Сплавы алюминия с магнием характеризуются высоким сопротивлением коррозии, хорошей свариваемостью. Механические свойства алюминиево-магниевых сплавов более высокие, чем у сплавов алюминия с марганцем.

В табл. 2.12 приводится химический состав и некоторые механические свойства различных марок алюминиево-магниевых сплавов в отожженном состоянии.

Таблица 2.12

Химический состав (в %) и механические свойства
алюминиево-магниевых сплавов

Марка сплава	Mg	Mn	Cu	Прочие	σ_B	$\sigma_{0,2}$	σ_{-1}	δ , %
					кГ/мм ²			
АМг1	0,5...1,8	—	$\leq 0,1$	—	8...14	—	—	25...30
АМг2	1,8...2,8	0,4	$\leq 0,1$	—	20	10	12	23
АМг3	3,2...3,8	0,4	0,5	—	23	10	—	21
АМг5В	4,6...5,4	0,4	0,05	V = 0,02...0,2	31	15	—	—
АМг6Т	6...7	0,3...0,6	0,05	Ti = 0,02...0,2	32	17	—	24

Пределы прочности σ_B сварных соединений, полученных на сплаве марки АМг6Т толщиной 9 мм, в зависимости от вида сварки следующие: аргонодуговая сварка — 32,2 кГ/мм²; газовая сварка — 15,6 кГ/мм².

В табл. 2.13 даны результаты механических испытаний сварных соединений, выполненных из сплавов марок АМг3 и АМг5В аргонодуговой сваркой с присадкой сплава АМг5.

Таблица 2.13

Механические свойства сварных соединений
алюминиевых сплавов

Марка сплава	σ_B , кГ/мм ²		$\sigma_{0,2}$, кГ/мм ²		δ , %	
	Основной металл	Сварной образец	Основной металл	Сварной образец	Основной металл	Сварной образец
АМг3	23,0	21,7	10,0	9,6	22,0	20
АМг5В	31,0	30,0	15,0	14,0	27,0	18

Характерными свойствами алюминиево-марганцовистых сплавов являются их высокая коррозионная стойкость, хорошая свариваемость и большая, чем у алюминия, прочность.

Механические свойства алюминиево-марганцовистых сплавов изменяются в зависимости от температуры (табл. 2.14).

Таблица 2.14

Влияние температуры на механические свойства (кГ/мм²) сплава АМц (1,2 % Mn)

Показатели	Температура испытания, °С								
	-160	-49	-18	24	100	140	204	260	315
σ_B	23,0	13,5	12,0	11,2	9,1	7,7	6,0	4,2	2,8
$\sigma_{0,2}$	6,0	4,9	4,2	4,0	3,7	3,5	3,0	2,5	1,8

Размеры листов и плит из алюминиевых сплавов приведены в табл. 2.15 и 2.16.

Таблица 2.15

Размеры и состояние поставки конструкционных листов из алюминия и алюминиевых сплавов

Состояние поставки	Марка алюминия и сплава	Толщина, мм	Ширина, мм	Длина, мм
Отожженное (М)	АМц, АМг2	от 0,3 до 0,4	1000, 1200	от 2000 до 3000
	АД00, АД0, АМц, АМг2, АВ	от 0,5 до 0,7	1000, 1200, 1400, 1500, 1600	от 2000 до 4000
		от 0,8 до 5,0	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	от 2000 до 4000
		от 5,5 до 10,0	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	от 2000 до 7000
	АМг3, АМг5, АМг6Б	от 0,5 до 0,7	1000, 1200, 1400, 1500, 1600	от 2000 до 7000
		от 0,8 до 10,0	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	от 2000 до 7000
	АМг6У	от 2 до 4,5	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	от 2000 до 7000

Состояние поставки	Марка алюминия и сплава	Толщина, мм	Ширина, мм	Длина, мм
Нагартованное (Н)	АД00, АД0, АМц, АМг2	от 0,8 до 4,5	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	от 2000 до 7000
	АМг6Б	от 1,5 до 4,5	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	от 2000 до 7000
		от 5,0 до 10,0	1000, 1200, 1400, 1500, 1600	от 2000 до 4000

Таблица 2.16

Размер плит повышенного качества из алюминиевого сплава АМг6

Состояние поставки	Маркировка	Толщина, мм	Ширина, мм	Длина, мм
Отожженное	АМг6БМ, АМг6М	от 11 до 16	1200, 1500	от 3000 до 6000
		от 11 до 20	2100, 2200, 2300, 2500	от 2100 до 5000
		от 11 до 20	2700, 2900, 3000	от 2700 до 3000
Отожженное с повышенной прочностью	АМг6БМС, АМг6МС	от 11 до 13	1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	от 2000 до 7000
Нагартованное	АМг6БН, АМг6Н	от 11 до 16	1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	от 2000 до 7000
Без термической обработки	АМг6Б, АМг6	от 11 до 80	1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	от 2000 до 7000

3. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Таблица 3.1

Оценка прочности сварных соединений

Тип шва или соединения	Расчетная формула	Принятые обозначения
Прямые стыковые швы, работающие на осевую силу (рис. 3.1, а)	$\frac{P_1}{s\ell} \leq \sigma_{\text{доп}}$	P_1 – нагрузка на растяжение или сжатие; s – толщина металла; ℓ – длина шва; $\sigma_{\text{доп}}$ – допускаемое напряжение для шва на растяжение или сжатие
Косые стыковые швы, работающие на осевую силу (рис. 3.1, б)	$\frac{P_1 \sin \alpha}{s\ell} \leq \sigma_{\text{доп}}$ $\frac{P_1 \cos \alpha}{s\ell} \leq \tau_{\text{доп}}$	α – угол между осью шва и направлением нагрузки, град; $\tau_{\text{доп}}$ – допускаемое напряжение для шва на срез
Швы соединений внахлестку (рис. 3.1, в) и тавровых соединений (рис. 3.1, з) без скоса кромок	$\frac{P_1}{m \sum \ell} \leq \tau_{\text{доп}}$	m – высота шва; $\sum \ell$ – суммарная длина швов
Швы тавровых соединений балок, работающих на срез от поперечной силы при изгибе (рис. 3.1, д)	$\frac{P_2 F}{I n_1 m} \leq \tau_{\text{доп}}$	P_2 – изгибающая нагрузка; F – статический момент полки, $F = sby$ (где s – толщина полки; b – ширина полки; y – расстояние от оси балки до оси полки); I – момент инерции балки; n_1 – количество швов
Соединения впристык, работающие на изгиб (рис. 3.1, е)	$\sqrt{\left(\frac{M_1}{W}\right)^2 + \left(\frac{P_2}{Q_1}\right)^2} \leq \tau_{\text{доп}}$	M_1 – изгибающий момент; W – момент сопротивления сечения швов; Q_1 – площадь рабочего сечения вертикальных швов
Швы тавровых соединений, работающие на срез от поперечной силы при изгибе в случае нагрузки, распределенной по некоторой длине (рис. 3.1, ж)	$\sqrt{\left(\frac{P_2 F}{I_{n1}}\right)^2 + \left(\frac{P_2}{a + 8\sqrt{\ell n} m n_1}\right)^2} \leq \tau_{\text{доп}}$	a – длина участка с распределенной нагрузкой; I_{n1} – момент инерции сечения пояса относительно его горизонтальной оси
Концевая заделка полосы, работающей на изгиб (рис. 3.1, з)	$\sqrt{\left(\frac{M_2 r_m}{I_p}\right)^2 + \left(\frac{P_2}{a_2}\right)^2} + 2 \frac{M_2 P_2 r_m}{I_p Q_2} \cos \alpha \leq \tau_{\text{доп}}$	M_2 – изгибающий момент относительно центра тяжести сварных швов; r_m – наибольший радиус-вектор; I_p – полярный момент инерции площади контура сварных швов;

Тип шва или соединения	Расчетная формула	Принятые обозначения
		Q_2 – рабочая площадь всех швов; α – угол между наибольшим радиусом-вектором и горизонталью
Точечное соединение, работающее на срез (рис. 3.1, <i>u</i>)	$\frac{4P_1}{n_2 \pi d^2} \leq \tau'_{\text{дон}}$	P_1 – нагрузка; n_2 – количество точек; d – диаметр точки; $\tau'_{\text{дон}}$ – допускаемое напряжение точки на срез
Концевая заделка полосы, работающей на изгиб (рис. 3.1, <i>к</i>)	$\frac{1}{q} \sqrt{\left(\frac{M_3 r_m}{\sum r^2} \right)^2 + \left(\frac{P_2}{n_2} \right)^2} \leq \tau'_{\text{дон}}$	M_3 – изгибающий момент относительно центра тяжести точек; q – сечение точки; r_m – наибольший радиус-вектор

Примечание. Сварные точки, работающие на отрыв, не допускаются и при расчете не учитываются.

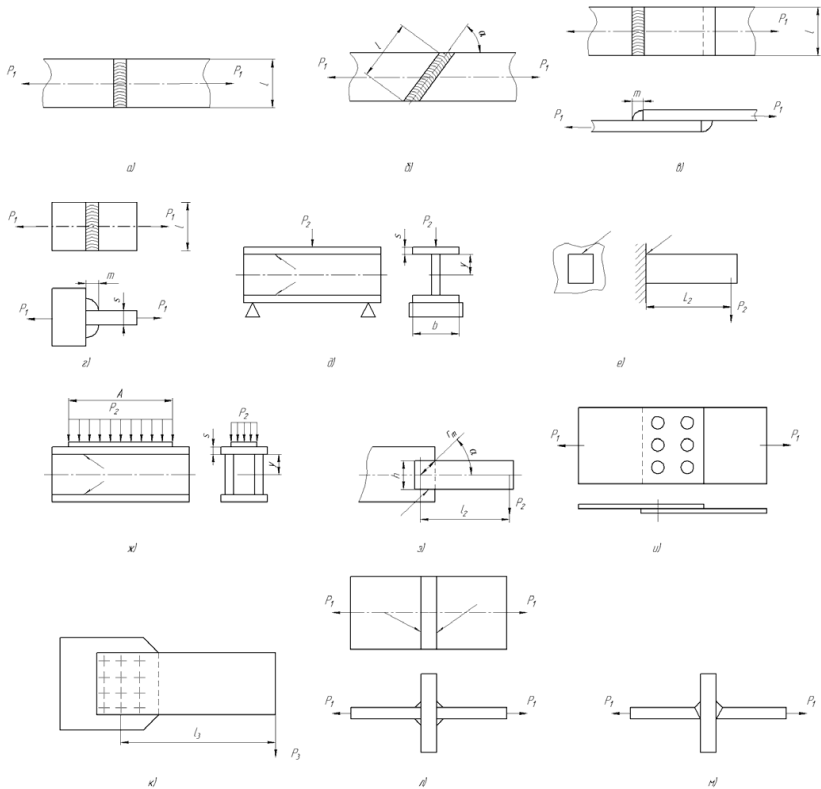


Рис. 2. Типы сварных соединений

На рис. 2 обозначено: *a*, *б* – прямые и косые стыковые швы, работающие на осевую силу; *в* – швы соединений внахлестку без скоса кромок; *г* – швы тавровых соединений без скоса кромок; *д* – швы тавровых соединений балок, работающих на срез от поперечной силы при изгибе; *е* – соединение впритык, работающее на изгиб; *жс* – швы тавровых соединений, работающие на срез от поперечной силы при изгибе в случае нагрузки, распределенной по некоторой длине; *з* – концевая заделка полосы, работающей на изгиб; *и* – точечное соединение, работающее на срез; *к* – концевая заделка полосы, работающей на изгиб; *л* – тавровое соединение без скоса кромок с выпуклыми швами без обработки; *м* – тавровое соединение со скосом кромок.

Конструктивные элементы сварных соединений и их размеры должны соответствовать ГОСТ: 5264, 11534, 8713, 11533, 14771, 23518, 14776, 15878, 14806, 16310 (прил. 5).

При проектировании сварных соединений конструкций необходимо выполнять следующие требования:

1) использовать детали и узлы наиболее простых геометрических форм;

2) уменьшать число составляющих элементов, имеющих минимально возможные по расчету сечения;

3) использовать более экономичные заготовки и детали из листового и фасонного проката, гнутые и штампованные заготовки вместо сложных поковок и отливок;

4) соблюдать соответствие габаритных размеров сварных узлов возможностям их обработки в термических печах;

5) избегать резких (ступенчатых) переходов по толщине металла, отклонения от симметричности расположения элементов по толщине; обеспечивать плавные переходы форм конструкции (малых радиусов закругления вырезов). Для конструкций (особенно при знакопеременных нагрузках) необходимо предусмотреть плавные переходы от металла шва к основному металлу. Если разница в толщине составляет больше 4 мм или 1/8 толщины более тонкого листа, то в толстом листе устраивается скос с уклоном 1:5;

6) назначать минимально допустимое число сварных соединений, так как прочность сварных соединений, как правило, ниже прочности основного металла соединяемых деталей;

7) предусматривать минимально возможные сечения швов, так как сварочные деформации тем больше, чем больше сечение шва;

8) обеспечить доступ к местам соединений при выполнении сварки и проведения контроля качества сварки;

9) для предотвращения образования чрезмерных сварочных деформаций и напряжений в конструкции стремиться к симметричному расположению сварных соединений, избегать скопления их на близком расстоянии друг от друга, не допускать перекрещивания сварных швов;

10) не допускать пересечения сварных швов в конструкциях, работающих на динамическую нагрузку. Стыки с накладками могут использоваться при статических нагрузках. В этом случае швы у накладок не доводить до оси стыка на 25 мм;

11) при динамических нагрузках соединение листовых деталей выполнять только встык. Начало и конец шва выводить на подкладки.

Кроме того, существуют специальные требования к размерам и конструкции шва. Расстояние между параллельными швами должно быть не менее 10 толщин основного элемента.

Для стальных деталей рекомендуются следующие диаметры сварной точки:

- при $\delta \leq 1,5 \dots 3$ мм

$$d = 1,2\delta + 4 \text{ мм};$$

- при $\delta \geq 3$ мм

$$d = 1,5\delta + 5 \text{ мм},$$

где δ – наименьшая толщина свариваемых листов, мм.

Во многих случаях диаметр точки выбирают в соответствии с табл. 3.2.

Шаг точек не должен быть больше: для сжатой зоны – 30, а для растянутой – 40 толщин более тонкой из соединяемых частей. Расстояние от центра точек до кромок свариваемых элементов не должно быть меньше: перпендикулярно к действию усилия – диаметра точки и вдоль действия усилия – двух диаметров.

Конструкция стыкового сварного шва должна соответствовать предполагаемому виду сварки, толщине стыкуемых деталей и положению стыкового шва в пространстве при сварке.

Таблица 3.2

Рекомендуемые размеры диаметра сварных точек

Толщина наиболее тонкой детали пакета, мм	Минимальный диаметр точки d , мм, для		
	низкоуглеродистой и низколегированной стали	нержавеющих и жаропрочных сталей и титановых сплавов	легких сплавов
0,8	3,0	3,5	3,5
1,0	3,5	4,0	4,0
1,2	4,0	4,5	5,0
1,5	5,0	5,5	6,0
2,0	6,0	6,5	7,0
2,5	6,5	7,0	8,0
3,0	7,0	8,0	9,0
4,0	9,0	10,0	12,0

Стыковые швы не должны быть острыми концентраторами напряжений, для чего необходимо выполнять следующие условия:

- а) превышение валика (усиления шва) над поверхностью деталей должно быть минимальным;
- б) в конструкциях, непосредственно воспринимающих динамические и вибрационные воздействия, усиление шва следует срезать (механическими способами) и поверхность швов зачистить заподлицо с поверхностью деталей;
- в) при соединении деталей разной толщины или разной ширины предусматривают плавные переходы с уклоном 1:5.

Конструкция угловых швов зависит от места их выполнения (заводские и монтажные швы) и от толщины сопрягаемых деталей (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Минимально возможные толщины швов

Толщина более толстого из свариваемых элементов, мм	<10	11...20	21...30	31...50	>50
Катет шва для углеродистых сталей	4	6	8	10	12
Катет шва для низколегированных сталей	6	8	10	12	—

При сварке прокатных профилей, имеющих закругленные кромки, катеты сварных швов должны приниматься в соответствии с табл. 3.4.

Таблица 3.4

Наименьшая толщина угловых швов вдоль кромок, имеющих закругления

Расположение шва	Толщина шва, мм				
	4	6	8	10	12
У пера уголков при толщине полки, мм	6	8	10	12	14
У полок двутавров	до № 14	№ 16–27	№ 30–40	№ 45	№ 50–60
У полок швеллеров	до № 12	№ 14–27	№ 30	№ 36–40	—

Монтажные угловые швы конструируют таким образом, чтобы получить минимальные объемы потолочной сварки.

Минимальные и максимальные размеры катетов швов принимаются: $h_{ш\text{ мин}} \geq 4$ мм, кроме сварки деталей тоньше 4 мм; $h_{ш\text{ макс}} \leq 1,2S_{\text{мин}}$ ($S_{\text{мин}}$ — толщина наиболее тонкой детали). Типовые размеры катетов угловых швов: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 25, 30 мм.

У концевых закреплений в расчет принимается длина фланговых швов не более 60 катетов.

Не допускается прикрепление деталей только лобовыми швами в соединениях внахлестку, работающих на растяжение или сжатие. Величина нахлестки не должна быть меньше пятикратной толщины более тонкого листа.

Швы длиной менее 30 мм и менее четырехкратной величины катета при расчетах не учитываются.

В основных деталях несущих конструкций применение прерывистых швов не допускается.

В напряженных местах швы, перпендикулярные направлению силового потока, в соединениях внахлестку не должны доводиться до кромок пересекаемого швом элемента на 15...20 мм.

При статических нагрузках угловые швы, как лобовые, так и фланговые, должны иметь соотношение катетов 1:1. При динамических нагрузках: фланговые швы — 1:1, а лобовые — 1:1,5 (рис. 3).

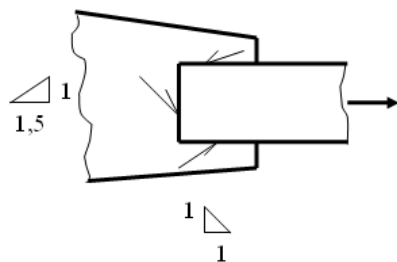


Рис. 3. Отношения катетов швов в конструкциях, работающих при динамических нагрузках

В узлах конструкций из *алюминиевых сплавов*, там, где concentрично сходятся сварные швы, должны предусматриваться сквозные отверстия. Однако везде, где возможно, следует избегать скопления швов.

Между двумя сварными швами, расположенными параллельно или почти параллельно, должно быть выдержано расстояние не менее 200 мм (рис. 4).

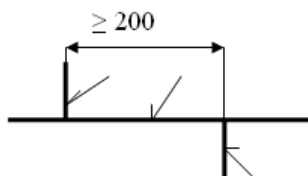


Рис. 4. Допустимое расстояние между двумя параллельными стыковыми швами

В растянутых элементах из термически упрочняемых *алюминиевых сплавов* следует избегать расположения швов перпендикулярно направлению действия растягивающих сил.

В тех случаях, когда нельзя избежать соединений элементов различной толщины, рекомендуется более толстый элемент скашивать с помощью фрезерования или строжки (рис. 5, а). В соединениях конструкций, предназначенных для работы при переменных нагрузках, переход от большей толщины к меньшей должен быть плавным. В прессованных профилях рекомендуется предусматривать выпрессовку профиля с плавным переходом. Во всех случаях следует избегать соединений элементов различной толщины (рис. 5, б).

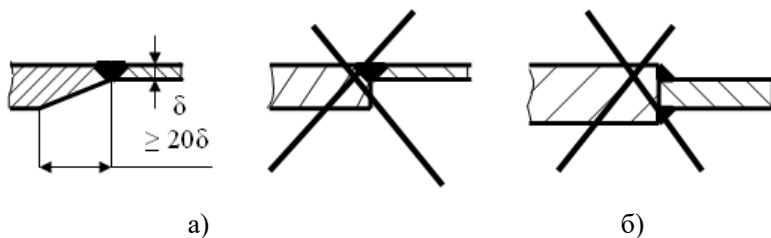


Рис. 5. Конструкции соединений разнотенных элементов из алюминиевых сплавов: *a* – рациональная; *б* – нерациональная

Для конструкций из алюминиевых сплавов во всех случаях, где возможно, предпочтительно применение соединений со стыковыми швами (рис. 6, *a*) вместо соединений с угловыми швами (рис. 6, *б*).

При выборе конструкции соединения следует предпочитать соединения со стыковыми швами соединениям с нахлесткой.

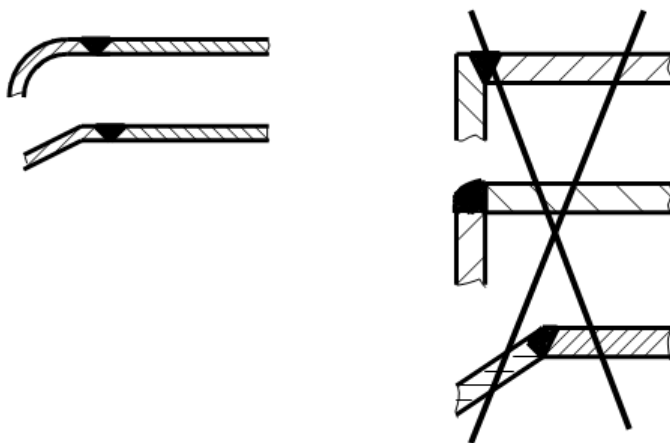


Рис. 6. Конструкции соединений: *a* – рекомендуемые – со стыковыми швами; *б* – нерациональные – с угловыми швами

Для настила площадок и ступеней лестниц допускается применять сталь марки МСт0.

Требования по проектированию оболочковых конструкций

1. Контур поперечных элементов жесткости оболочек следует проектировать замкнутым.

2. Передачу сосредоточенных нагрузок на оболочковые конструкции, как правило, осуществляют через элементы жесткости.

3. В местах сопряжения оболочек различной формы следует применять, как правило, плавные переходы в целях уменьшения местных напряжений.

4. Выполнение всех стыковых швов следует предусматривать либо двусторонней, либо односторонней сваркой с подваркой корня шва или на подкладках.

5. В оболочковых конструкциях следует применять сварные соединения встык. Соединения листов толщиной 5 мм и менее, а также монтажные соединения допускается выполнять внахлестку.

6. При конструировании оболочковых конструкций необходимо предусматривать промышленные методы их изготовления и монтажа путем применения: листов и лент больших размеров; способа рулонирования, изготовления заготовок в виде скорлуп и др.; раскроя, обеспечивающего наименьшее количество отходов; автоматической сварки; минимального количества сварных швов, выполняемых на монтаже.

Для стальных цилиндрических аппаратов, корпуса (обечайки) которых выполняются из листового проката, за базовый принимается внутренний диаметр (мм), выбираемый из следующего ряда (ГОСТ 9617-76): 400, 450*, 500, 550*, 600, 650*, 700, 800, 900, 1000, 1100*, 1200, 1300*, 1400, 1500*, 1600, 1700*, 1800, 1900*, 2000, 2200, 2400, 2500, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400, 3600, 3800, 4000, 4500, 5000, 5600, 6300, 7000, 7500, 8000, 8500, 9000, 9500, 10000, 11000, 12000, 14000, 16000, 18000, 20000. Диаметры со знаком * предназначены только для рубашек аппаратов.

Для стальных аппаратов, корпуса которых выполняются из готовых труб, за базовый принимается наружный диаметр (мм), выбираемый из следующего ряда (ГОСТ 9617-76): 133, 159, 168, 219, 273, 325, 377, 426, 480, 530, 630, 720, 820, 920, 1020, 1120, 1220, 1320, 1420.

Для сферических резервуаров рекомендуется использовать стали, указанные в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Марки стали, применяемые для конструкций
сферических резервуаров

Элемент конструкции	Группа кон-струкций	Марка стали при температуре, °С		ГОСТ
		от –40 и выше	ниже –40 до –50	
Сферическая оболочка	III	09Г2С	09Г2С	5520 (ЧМТУ 1–349)
Опорные конструкции, кроме трубчатых стоек	IV	Ст3пс	09Г2С	380–2005; 19282–73
Трубчатые стойки	IV	20	09Г2С	1050
Лестницы и площадки	IV	ВСт3кп	09Г2С	380–2005; 19282–73

Таблица 3.6

Значение коэффициента прочности сварных швов ϕ ,
выполняемых методом дуговой электрической сварки
(к расчету листовых конструкций)

Вид сварного соединения	Метод сварки	ϕ
Встык с двусторонним проваром	Автоматическая под флюсом	1,0
	Ручная	0,95
	Ручная с повышенными требованиями контроля	1,0
Встык на подкладке	Ручная	0,9
Встык при одностороннем шве	Автоматическая под флюсом	0,8
	Ручная	0,7
Впритык с обеспечением сплошного провара	Автоматическая под флюсом	1,0
	Ручная	0,95
Впритык угловыми швами	Автоматическая под флюсом или ручная	0,8
Внахлестку при наличии швов с двух сторон		

4. ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН

Ниже приведены буквенные обозначения геометрических, физико-механических и других величин, отвечающие СТ СЭВ 1565-79 «Нормативно-техническая документация в строительстве. Буквенные обозначения», который введен в действие в качестве государственного стандарта.

Латинские прописные буквы

A — площадь сечения брутто;

A_f — площадь сечения полки (пояса);

A_w — площадь сечения стенки;

A_{wf} — площадь сечения по металлу углового шва;

A_{wz} — площадь сечения по металлу границы сплавления;

E — модуль упругости;

F — сила;

$J_x; J_y$ — моменты инерции сечения брутто относительно осей соответственно $x - x$, $y - y$;

$J_{xn}; J_{yn}$ — то же, сечения нетто;

M — момент, изгибающий момент;

$M_x; M_y$ — моменты относительно осей соответственно $x - x$ и $y - y$;

N — продольная сила;

Q — поперечная сила, сила сдвига;

Q_{fic} — условная поперечная сила для соединительных элементов;

Q_s — условная поперечная сила, приходящаяся на систему планок, расположенных в одной плоскости;

R_{ba} — расчетное сопротивление растяжению фундаментных болтов;

R_p — расчетное сопротивление стали смятию торцевой поверхности (при наличии пригонки);

R_s — расчетное сопротивление стали сдвигу;

R_u — расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по временному сопротивлению;

R_{un} — временное сопротивление стали разрыву, принимаемое равным минимальному значению σ_b по государственным стандартам и техническим условиям на сталь;

R_{wf} — расчетное сопротивление угловых швов срезу (условному) по металлу шва;

- R_{wu} – расчетное сопротивление сварных стыковых соединений сжатия, растяжению, изгибу по временному сопротивлению;
- R_{wun} – нормативное сопротивление металла шва по временному сопротивлению;
- R_{ws} – расчетное сопротивление сварных стыковых соединений сдвигу;
- R_{wy} – расчетное сопротивление стыковых сварных соединений сжатия, растяжению и изгибу по пределу текучести;
- R_{wz} – расчетное сопротивление угловых швов срезу (условному) по металлу границы сплавления;
- R_y – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести;
- R_{yn} – предел текучести стали, принимаемый равным значению предела текучести σ_T по государственным стандартам и техническим условиям на сталь;
- S – статический момент сдвигаемой части сечения брутто относительно нейтральной оси;
- V – опорная реакция;
- W_x, W_y – моменты сопротивления сечения брутто относительно осей соответственно $x - x$ и $y - y$.

Латинские строчные буквы

- b – ширина;
- b_{ef} – расчетная ширина;
- b_f – ширина полки (пояса);
- b_h – ширина выступающей части ребра, свеса;
- $c; c_x; c_y$ – коэффициенты для расчета на прочность с учетом развития пластических деформаций при изгибе относительно осей соответственно $x - x, y - y$;
- e – эксцентриситет силы;
- h – высота;
- h_w – высота стенки;
- i – радиус инерции сечения;
- k_f – катет углового шва;
- ℓ – длина, пролет;
- ℓ_{ef} – расчетная, условная длина;

ℓ_s — длина планки;
 ℓ_w — длина сварного шва;
 t — толщина;
 t_f — толщина полки (пояса);
 t_w — толщина стенки.

Греческие строчные буквы

α — угол; коэффициент линейного расширения;
 β — угол; коэффициент глубины провара углового сварного шва;
 β_j ; β_z — коэффициенты для расчета углового шва соответственно по металлу шва и по металлу границы сплавления;
 γ_b — коэффициент условий работы соединения;
 γ_c — коэффициент условий работы;
 γ_n — коэффициент надежности по назначению;
 γ_f — коэффициент надежности по нагрузке;
 γ_m — коэффициент надежности по материалу;
 γ_u — коэффициент надежности в расчетах по временному сопротивлению;
 λ — гибкость;
 $\bar{\lambda}$ — условная гибкость;
 λ_{ef} — приведенная гибкость стержня сквозного сечения;
 $\bar{\lambda}_{ef}$ — условная приведенная гибкость стержня сквозного сечения;
 $\bar{\lambda}_w$ — условная гибкость стенки;
 σ_{loc} — местное напряжение;
 $\varphi_{(x,y)}$ — коэффициент продольного изгиба;
 φ_e — коэффициент снижения расчетных сопротивлений при внецентренном сжатии.

Однобуквенные индексы

f — нагрузка; пояс (полка) балки; угловой сварной шов;
 s — сдвиг; срез, скалывание;
 t — растяжение;
 w — сварной шов;
 x — координатная ось;
 y — координатная ось; текучесть;
 z — координатная ось; границы зон сплавления.

5. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА СВАРНЫХ УЗЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

5.1. Балочные конструкции

Пример 5.1. Сварная сплошностенчатая балка воспринимает равномерно распределенную нагрузку (рис. 7, а), состоящую из постоянной нагрузки $p_{1n} = 10$ кН/м с коэффициентом надежности $\gamma_{f1} = 1,1$ и временной нагрузки $p_{2n} = 145$ кН/м с коэффициентом $\gamma_{f2} = 1,2$.

Пролет балки $\ell = 12$ м.

Материал – сталь марки ВСтЗпс (ГОСТ 380-2005).

Определение расчетной схемы нагружения

Суммарная нормативная нагрузка на балку

$$q_n = p_{1n} + p_{2n} = 10 + 145 = 155 \text{ кН/м.}$$

Расчетная нагрузка с учетом формулы $q = q_n \gamma_f$ (γ_f – коэффициент надежности) (рис. 7, а)

$$q = (p_{1n} \gamma_{f1} + p_{2n} \gamma_{f2}) \gamma_n = (10 \cdot 1,1 + 145 \cdot 1,2) 1 = 185 \text{ кН/м.}$$

Максимальный изгибающий момент (рис. 7, б)

$$M_{\max} = q\ell^2/8 = 185 \cdot 12^2/8 = 3330 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

поперечная сила (рис. 5.1, в)

$$Q_{\max} = q\ell/2 = 185 \cdot 12/2 = 1110 \text{ кН.}$$

Правила контроля построения эпюр M и Q приведены в прил. 3.

Проектирование сечения балки

Вначале определяем высоту балки. Принимая по таблицам, в зависимости от назначения конструкции и применяемого конструкционного материала, предельный относительный прогиб $f_u/\ell = 1/400$, находим минимальную по жесткости высоту сечения балки

$$h_{\min} = \frac{5 R_y \ell^2 q_n}{24 E f_u q} = \frac{5 \cdot 215 \cdot 10^6 \cdot 12 \cdot 400 \cdot 155}{24 \cdot 206 \cdot 10^9 \cdot 185} = 0,874 \text{ м} = 874 \text{ мм.}$$

Зависимость минимальной высоты сечения от относительного прогиба балки показана в табл. 5.1.

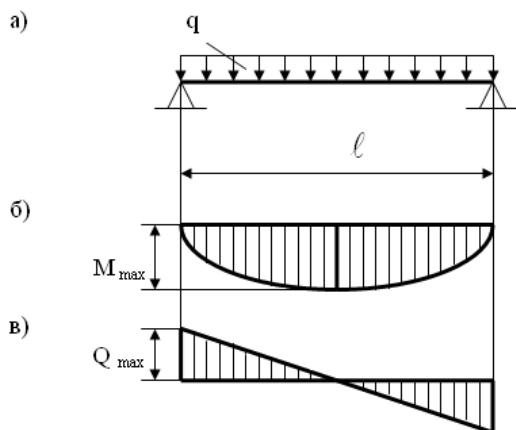


Рис. 7. Схема нагружения балки

В целях экономии металла проектируем балку переменного по длине сечения, поэтому развитие пластических деформаций можно допустить только в одном сечении – сечении с максимальным изгибающим моментом. Задаваясь коэффициентом $c_1 = 1,1$ и принимая по соответствующим таблицам минимальное расчетное сопротивление листового проката из стали указанной марки, по формуле

$$W_{pl} \geq M_{\max} / (c_1 R_y \gamma_c)$$

при $\gamma_c = 1$ находим требуемый момент сопротивления

$$W_x \geq M_{\max} / (c_1 R_y) = 3330 \cdot 10^3 / (1,1 \cdot 215 \cdot 10^6) \approx \\ \approx 14,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 14100 \text{ см}^3.$$

Таблица 5.1

Отношения минимальной высоты сечения балки к пролету в зависимости от прогиба (для стали Ст3)

$\frac{f}{\ell} = \frac{1}{n_0}$	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{750}$	$\frac{1}{600}$	$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{200}$
$\frac{h_{\min}}{\ell}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{30}$

С учетом ориентировочной толщины стенки

$$t_w = 7 + 3h_{\min} / 1000 = 7 + 3 \cdot 874 / 1000 \text{ мм} \approx 10 \text{ мм}$$

определяем оптимальную высоту

$$h_{opt} = k\sqrt{W_x/t_w} = 1,1\sqrt{14100/1} \approx 131 \text{ см.}$$

Отношение $h_{opt}/t_w = 131/1 = 131$ находится в рекомендуемых пределах (табл. 5.2), и его корректировка не требуется. Сравнивая полученные значения высоты, принимаем $h = 130$ см, что больше h_{min} , но почти не отличается от h_{opt} .

При $h_w \approx h$ минимальная требуемая толщина стенки из условия прочности стенки на срез

$$t_w = \sqrt[3]{2Q_{max}/(hR_s)} = \sqrt[3]{3 \cdot 1110 \cdot 10^3 / (2 \cdot 1,3 \cdot 130 \cdot 10^6)} = 9,85 \cdot 10^{-3} \text{ м} \approx 10 \text{ мм.}$$

Таблица 5.2

Рекомендуемые соотношения высоты балки h и толщины стенки t_w

h , м	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
t_w , мм	8...10	10...12	12...14	16...18	20...22	22...24
h/t_w	100...125	125...150	145...165	165...185	185...200	210...230

Здесь расчетное сопротивление

$$R_s = 0,58R_y = 0,58 \cdot 225 = 130 \text{ МПа,}$$

где значение R_y соответствует листовому прокату толщиной 4...20 мм из стали марки ВСтЗпс, поставляемой по ГОСТ 380-2005.

Нетрудно видеть, что по условию прочности потребуется в 1,5 раза меньшая толщина, а из условия обеспечения местной устойчивости стенки без укрепления продольным ребром жесткости

$$t_w = (h/6)\sqrt{R_y/E} = (1300/6)\sqrt{225/(206 \cdot 10^3)} = 7,2 \text{ мм} < 10 \text{ мм.}$$

Таким образом, принятая при определении высоты балки толщина стенки $t_w = 10$ мм может быть оставлена без изменения.

Требуемая площадь сечения пояса

$$A_f = W_x/h - t_w h/6 = 14100/130 - 1 \cdot 130/6 = 86,8 \text{ см}^2.$$

Руководствуясь табличными данными по сортаменту на сталь горячекатаную толстолистовую (по ГОСТ 19903), назначаем высоту стенки $h_w = 1250$ мм (прил. 4). Тогда толщина каждого поясного листа

$$t_f = (h - h_w)/2 = (130 - 1250)/2 = 25 \text{ мм}$$

и требуемая ширина $b_f \geq A_f/t_f = 86,8/2,5 \approx 35$ см.

По таблицам сортамента на сталь прокатную принимаем с некоторым запасом (учитывая приближенность указанной формулы) листы из универсальной стали сечением $b_f \times t_f = 400 \times 25$ мм. При этом соблюдаются условия:

$$t_f < 3t_w = 3 \cdot 10 = 30 \text{ мм};$$

$$b_f/h = 400/1300 = 1/3,25,$$

а местную устойчивость сжатого верхнего пояса обеспечивает отношение

$$b_f/t_f = (b_f - t_w)/(2t_f) = (400 - 10)/(2 \cdot 25) = 7,8,$$

что при

$$h_w/t_w = 1250/10 = 125 > 2,7\sqrt{E/R_Y} = 2,7\sqrt{206 \cdot 10^3/215} =$$

$$= 2,7 \cdot 30,95 = 83,6$$

не превышает значения при развитии пластических деформаций

$$b_{ef}/t_f \leq 0,11h_w/t_w;$$

$$0,11h_w/t_w = 0,11 \cdot 125 = 13,75,$$

которое, в свою очередь, меньше $0,5\sqrt{E/R_Y} = 0,5 \cdot 30,95 = 15,5$.

Скомпонованное сечение балки изображено на рис. 8.

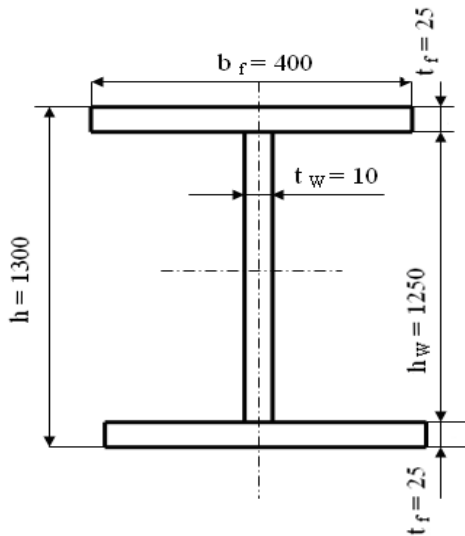


Рис. 8. Поперечное сечение балки

Проверка прочности и жесткости принятого сечения

Площадь поперечного сечения (рис. 8)

$$A = A_w + 2A_f = t_w h_w + 2b_f t_f = 0,01 \cdot 1,25 + 2 \cdot 0,4 \cdot 0,025 = \\ = (125 + 2 \cdot 100) \cdot 10^{-4} = 325 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Статический момент площади половины сечения относительно нейтральной оси $x - x$

$$S_x = A_f h_f / 2 + (A_w / 2) h_w / 4 = b_f t_f (h - t_f) / 2 + t_w h_w^2 / 8 = \\ = 0,4 \cdot 0,025 (1,3 - 0,025) / 2 + 0,01 \cdot 1,25^2 / 8 = (638 + 195) \cdot 10^{-5} = \\ = 833 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

Момент инерции площади сечения

$$J_x = J_w + 2J_f = t_w h_w^3 / 12 + 2b_f t_f [(h - t_f) / 2]^2 = \\ = 0,01 \cdot 1,25^3 / 12 + 2 \cdot 0,4 \cdot 0,025 \cdot 0,6375^2 = \\ = (163 + 813) \cdot 10^{-5} = 976 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4.$$

Момент сопротивления

$$W_x = 2J_x / h = 2 \cdot 976 \cdot 10^{-5} / 1,3 = 15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Уточнение нагрузки и расчетных усилий

Вес 1 м длины балки

$$q_{bn} = mg = \rho Ag = 7850 \cdot 325 \cdot 10^{-4} \cdot 9,81 = 2500 \text{ Н/м} = 2,5 \text{ кН/м}.$$

Здесь m – масса 1 м балки; $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$ – плотность стали; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

Суммарная расчетная нагрузка

$$q' = q + q_{bn} \gamma_f = 185 + 2,5 \cdot 1,05 \approx 188 \text{ кН/м}.$$

Максимальный изгибающий момент

$$M_{\max} = q' \ell^2 / 8 = 188 \cdot 12^2 / 8 \approx 3380 \text{ кН/м}.$$

Поперечная сила

$$Q'_{\max} = q' \ell / 2 = 188 \cdot 12 / 2 \approx 1130 \text{ кН}.$$

Проверка прочности:

а) по нормальным напряжениям. Согласно формуле

$$\sigma_{\max} = M_{\max} / (c_1 W_x) = 3380 / (1,09 \cdot 15 \cdot 10^{-3}) = 207 \cdot 10^6 \text{ Па} = \\ = 207 \text{ МПа} < R_y = 215 \text{ МПа}.$$

Здесь $c_1 \leq 1,2$ – коэффициент, учитывающий развитие пластических деформаций. Расчетное сопротивление R_y принято исходя из толщины поясных листов $21 < t_f = 25 \text{ мм}$.

Недонапряжение составляет

$$\Delta\sigma = 3,7 \% < 5 \%;$$

б) по касательным напряжениям. Согласно

$$\begin{aligned}\tau_{\max} &= Q_{\max} S_x / (J_x t_w) = 1130 \cdot 10^3 \cdot 833 \cdot 10^{-5} / (976 \cdot 10^{-5} \cdot 0,01) \approx \\ &\approx 96 \cdot 10^6 \text{ Па} = 96 \text{ МПа} < R_s = 130 \text{ МПа}.\end{aligned}$$

Опорные сечения балок, рассчитываемых с учетом развития пластических деформаций, главой СНиП II-23-81 рекомендуется проверять по средним касательным напряжениям. В проверке этого условия необходимости нет, поскольку оно соблюдено в процессе предварительного подбора толщины стенки.

Таким образом, прочность балки при раздельном действии нормальных и касательных напряжений обеспечена. Проверка жесткости не требуется, потому что принятая высота балки $h = 130$ см значительно превышает $h_{\min} \approx 88$ см.

Изменение сечения по длине балки. Стык растянутого пояса необходимо выполнить прямым швом (рис. 9) с визуальным контролем качества.

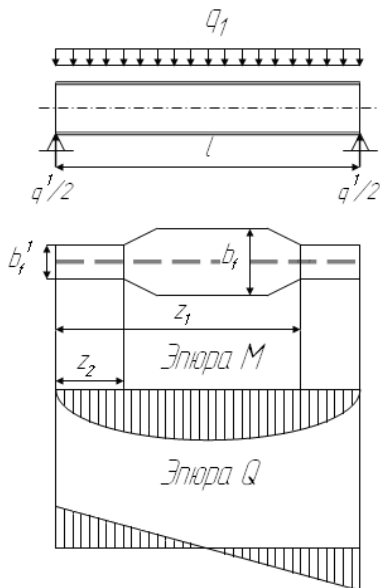


Рис. 9. Схема изменения сечения балки

Уменьшаем ширину поясов в 2 раза, назначая

$$b'_f = b_f/2 = 400/2 \text{ мм},$$

что больше 180 мм. Тогда $h/10 = 1300/10 = 130$ мм, что не противоречит табл. 5.2.

Тогда момент инерции площади измененного сечения

$$J'_x = (163 + 813 \cdot 0,2/0,4) \cdot 10^{-5} = 569 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4.$$

Соответствующий момент сопротивления

$$W'_x = 2 \cdot 569 \cdot 10^{-5}/1,3 = 8,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Предельный изгибающий момент, воспринимаемый измененным сечением,

$$M_u = R_{wy} W'_x = 180 \cdot 10^6 \cdot 8,75 \cdot 10^{-3} = 1575 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1575 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (\text{а})$$

где $R_{wy} = 0,85R_y = 0,85 \cdot 215 \text{ МПа} \approx 180 \text{ МПа}$.

Аналитическое выражение изгибающего момента в произвольном сечении балки

$$M(z) = q' \ell z/2 - q' z^2/2. \quad (\text{б})$$

Приравняв правые части равенств (а) и (б), получим

$$q' \ell z/2 - q' z^2/2 = 1575, \quad \text{или} \quad z^2 - \ell z + 3150/q' = 0.$$

Решая это квадратное уравнение, находим:

$$z_{1,2} = \ell/2 \pm \sqrt{\ell^2/4 - 3150/q'} = 12/2 \pm \sqrt{12^2/4 - 3150/188} = 6 \pm 4,39;$$

$$z_1 \approx 10,4 \text{ м}; \quad z_2 \approx 1,6 \text{ м}.$$

Проверка прочности измененного сечения

а) по касательным напряжениям на опоре. Статический момент площади половины сечения

$$S'_x = (638 \cdot 0,2/0,4 + 195) \cdot 10^{-5} = (319 + 195) \cdot 10^{-5} = 514 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

Максимальные касательные напряжения

$$\begin{aligned} \tau_{\max} &= 1130 \cdot 10^3 \cdot 514/(569 \cdot 0,01) = 102 \cdot 10^6 \text{ Па} = \\ &= 102 \text{ МПа} < R_s = 130 \text{ МПа}; \end{aligned}$$

б) по приведенным напряжениям σ_{red} . Поскольку балка несет равномерно распределенную нагрузку, расчет ведем по формуле $\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \beta R_y \gamma_c$ (σ и τ – нормальное и касательное напряжения в стенке на уровне поясных швов; $\beta = 1,15$ – коэффициент,

учитывающий развитие в стенке пластических деформаций). Нормальные напряжения на уровне поясных швов

$$\sigma = R_{wy} \cdot h_w / h = 180 \cdot 1,25 / 1,3 = 173 \text{ МПа.}$$

Поперечная сила в сечении с абсциссой z_2

$$Q = q^1(\ell/2 - z_2) = 188(12/2 - 1,6) = 827 \text{ кН.}$$

Статический момент площади сечения пояса относительно нейтральной оси $S_f = 319 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$. Касательные напряжения на уровне поясных швов

$$\tau = QS_f / (J_x t_w) = 827 \cdot 10^3 \cdot 319 / (569 \cdot 0,01) \approx 46 \cdot 10^6 \text{ Па} = 46 \text{ МПа.}$$

Приведенные напряжения

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{173^2 + 3 \cdot 46^2} = 190 \text{ МПа} < \beta R_y = 1,15 \cdot 225 \approx 260 \text{ МПа.}$$

Таким образом, прочность уменьшенного сечения обеспечена.

Подсчет экономии металла

Масса балки постоянного сечения

$$\mu = q_{bn} \ell / g = 2500 \cdot 12 / 9,81 \approx 3050 \text{ кг} = 3,06 \text{ т.}$$

Масса балки переменного сечения

$$\begin{aligned} \mu^1 &= q_{bn} (z_1 - z_2) / g + 2\rho A' z_2 = 2500(10,4 - 1,6) / 9,81 + \\ &+ 2 \cdot 7850(0,0125 + 2 \cdot 0,2 \cdot 0,025) \cdot 1,6 \approx 2810 \text{ (кг)} = 2,81 \text{ т.} \end{aligned}$$

Отсюда

$$\Delta\mu = [(\mu - \mu^1) / \mu] \cdot 100 \% = [(3,06 - 2,81) / 3,06] \cdot 100 \% = 8,2 \%$$

т. е. уменьшение ширины поясов позволяет облегчить балку на 8 %.

Проверка общей устойчивости балки

Расчетная нагрузка $q^1 = 188 \text{ кН/м}$ передается на верхний пояс балки прокатными балками настила (двутавры № 30), которые установлены с шагом $\ell_0 = 1 \text{ м}$ (рис. 10).

На крайних участках, где уменьшена ширина пояса, отношение $\ell_0 / b_f^1 = 100 / 20 = 5$ меньше наибольшего значения, подсчитанного по формуле

$$\begin{aligned} l_{ef} / b_f &= [\varepsilon + 0,0032 b_f^1 / t_f + (\zeta - \eta b_f^1 / t_f) b_f^1 / (h_w - t_f)] \sqrt{E / R_y} = \\ &= [0,35 + 0,0032 \cdot 20 / 2,5 + (0,76 - 0,02 \cdot 20 / 2,5) 20 / (130 - 2,5)] \times \\ &\times \sqrt{206 \cdot 10^3 / 215} = (0,35 + 0,0256 + 0,094) 30,95 = 14,5. \end{aligned}$$

Здесь ε , ξ , η – коэффициенты, принимаемые по табл. 5.3; t_f – толщина сжатого пояса; h_f – расстояние между центральными осями поясных листов.

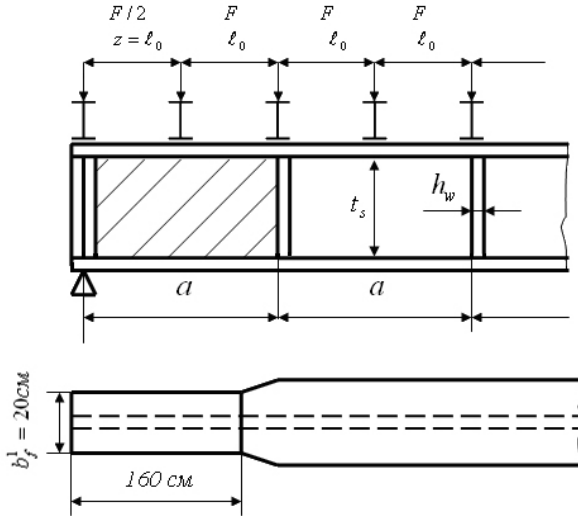


Рис. 10. Схема настила балки

Таблица 5.3

Коэффициенты приложенных нагрузок

Приложение нагрузки	ε	ξ	η
К верхнему поясу	0,35	0,76	0,02
К нижнему поясу	0,57	0,92	0,02
Независимо от места приложения при расчете участка балки между связями или при чистом изгибе	0,41	0,73	0,016

В средней части балки, где отношение $l_0/b_f = 100/40 = 2,5$ допускается развитие пластических деформаций в сечении с максимальным изгибающим моментом. Следовательно, наибольшее значение этого соотношения необходимо умножить на понижающий коэффициент, который при $c = c_1 = 1,09$ составляет $\delta = 1 - 0,7 = 0,3$. Отсюда $\delta l_{ef}/b_f = 0,3[0,35 + 0,0256 + (0,76 - 0,02 \cdot 40/2,5) \cdot 40/127,5] \cdot 30,95 = 4,8 > 2,5$.

Таким образом, общая устойчивость балки обеспечена.

Проверка местной устойчивости

Устойчивость сжатого верхнего пояса также обеспечена, поскольку $b_{ef}/t_f = 7,8 < 0,11h_w/t_w = 13,75$.

Для обеспечения местной устойчивости сжатого пояса балки отношение ширины свеса b_{ef} (рис. 11) к толщине пояса t_w следует принимать по данным табл. 5.4.

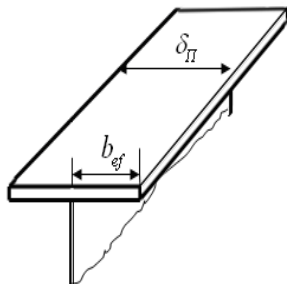


Рис. 11. Расчетная схема пояса

Таблица 5.4

Предельные отношения ширины свеса полки b_{ef} к толщине t_f

Расчет изгибаемых элементов	Характеристика свеса	Наибольшие значения отношения b_{ef}/t_f
В пределах упругих деформаций	Неокаймленный	$0,5\sqrt{\frac{E}{R_y}}$
	Окаймленный ребром	$0,75\sqrt{\frac{E}{R_y}}$
С учетом развития пластических деформаций*	Неокаймленный	$0,11\frac{h_{ef}}{t_w}$, но не более $0,5\sqrt{\frac{E}{R_y}}$
	Окаймленный ребром	$0,11\frac{h_{ef}}{t_w}$, но не более $0,75\sqrt{\frac{E}{R_y}}$

Условная гибкость стенки

$$\bar{\lambda}_w = (h_w/t_w)\sqrt{R_y/E} = (125/1)\sqrt{225/(206 \cdot 10^3)} = 125/30,36 = 4,13 > 3,2,$$

т. е. условие $\bar{\lambda}_w < \sqrt{10,3} = 3,2$ не выполняется и необходимо поставить поперечные ребра жесткости. Если на участке между ребрами жесткости действует местная нагрузка, то СНиП разрешают не проверять устойчивость стенки при $\bar{\lambda}_w \leq 2,5$. Так как $\bar{\lambda}_w > 2,5$, то необходима проверка устойчивости стенки.

Вследствие частого расположения балок настила прежде всего целесообразно выяснить, возможна ли расстановка ребер на расстоянии, равном удвоенному шагу балок:

$$a = 2\ell_0 = 2 \cdot 1 = 2 < 2h_w = 2 \cdot 1,25 = 2,5 \text{ м.}$$

Проверяем устойчивость стенки с учетом местных напряжений под балкой настила в отсеке, где изменяется сечение рассматриваемой балки, т. е. на расстоянии $z = \ell_0 = 1$ м от опоры. Изгибающий момент (см. уравнение (б))

$$M = q^1 z(\ell - z)/2 = 188 \cdot 1(12 - 1)/2 = 1034 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Предельная несущая способность тонкостенной балки в отсеке

$$M_{np} = W_{\Pi} R \geq M_p,$$

где M_p – расчетный момент в пределах отсека; W_{Π} – момент сопротивления сечения, $W_{\Pi} = F_{\Pi} h_0 k$; F_{Π} – площадь пояса; h_0 – высота стенки; k – коэффициент, определяемый в зависимости от $\beta = F_{\Pi}/F_{\text{ст}}$ (табл. 5.5), $0,5 \leq \beta \leq 2,0$.

Таблица 5.5

Значения коэффициента k

β	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
k	1,100	1,078	1,056	1,043	1,036	1,029	1,026	1,023	1,020

Поперечная сила

$$Q = q^1(\ell/2 - z) = 188(12/2 - 1) = 940 \text{ кН.}$$

Краевое нормальное напряжение в стенке

$$\begin{aligned} \sigma &= (M/J_x^1)h_w/2 = [1034 \cdot 10^3/(569 \cdot 10^{-5})] \cdot 1,25/2 \approx \\ &\approx 114 \cdot 10^6 \text{ Па} = 114 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Среднее касательное напряжение

$$\tau = Q/(t_w h_w) = 940 \cdot 10^3 / (0,01 \cdot 1,25) \approx 75 \cdot 10^6 \text{ Па} = 75 \text{ МПа.}$$

Местное напряжение

$$\sigma_{loc} = F/[t_w(b + 2t_f)] = 188 \cdot 10^3 / [0,01(0,135 + 2 \cdot 0,025)] \text{ Па} \approx 102 \cdot 10^6 \text{ Па} = 102 \text{ МПа.}$$

Здесь $F = q^l \ell / n = 188 \cdot 12 / 12 = 188 \text{ кН}$ представляет собой сосредоточенную нагрузку от балок настила, опирающихся на рассматриваемую балку ($n = \ell / \ell_0 = 12 / 1 = 12$). Длина нагруженного участка $b = 13,5 \text{ см}$ соответствует ширине полки двутавра № 30, из которого запроектированы балки настила.

Коэффициент защемления стенки в поясах, учитывающий степень упругого защемления стенки в поясах,

$$\delta = \beta(b_f^1 / h_w)(t_f / t_w)^3 = 0,8(20/125)(2,5/1)^3 = 2.$$

Отношение сторон отсека

$$\mu = a/h_w = 2/1,25 = 1,6.$$

Отношение напряжений (табл. 5.6)

$$\sigma_{loc} / \sigma = 102/114 = 0,895 > 0,543.$$

Таблица 5.6

Предельные значения σ_{loc} / σ для стальных сварных балок симметричного сечения

δ	Значения σ_{loc} / σ при a/h_w							
	0,8	0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,8	≥ 2
≤ 1	0	0,146	0,183	0,267	0,359	0,445	0,540	0,618
2	0	0,109	0,169	0,277	0,406	0,543	0,652	0,799
4	0	0,072	0,129	0,281	0,479	0,711	0,930	1,132
5	0	0,066	0,127	0,288	0,536	0,874	1,192	1,468
10	0	0,059	0,122	0,296	0,574	1,002	1,539	2,154
≥ 30	0	0,047	0,112	0,300	0,633	1,283	2,249	3,939

Примечание.

1. При частом расположении поперечных ребер жесткости ($a/h_w \leq 0,8$) отсек может выпучиться только по одной полуволне.
2. Если отношение σ_{loc} / σ не превышает табличных значений, то форма выпучивания отсека может иметь две полуволны.

Следовательно, критическое нормальное напряжение определяем по формуле:

$$\sigma_{cr} = c_2 R_y / \bar{\lambda}_w^2 = 62 \cdot 225 / 4,13^2 = 818 \text{ МПа},$$

где $c_2 = 62$ по табл. 5.7.

Таблица 5.7

Коэффициент c_2 для сварных балок

Балки	Значения c_2 при a/h_w										
	$\leq 0,8$	0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6
Стальные	По табл. 5.6	37	39,2	45,2	52,8	62	72,6	84,7	84,7	84,7	84,7
Алюминиевые	—	—	11,4	13,1	15,3	18	21	24,5	28,4	32,6	37,1

Таблица 5.8

Коэффициент c_{cr} для случая чистого изгиба стальных сварных балок

δ	$\leq 0,8$	1	2	4	6	10	≥ 30
c_{cr}	30	31,5	33,3	34,6	34,8	35,1	35,5

Примечание.

Для алюминиевых балок $c_{cr} = 10$.

Критическое местное напряжение

$$\sigma_{loc.cr} = c_1 R_y / \bar{\lambda}_a^2 = 39,2 \cdot 225 / 6,61^2 = 202 \text{ МПа},$$

где коэффициент $c_1 = 39,2$ принят по табл. 5.9, а условная гибкость

$$\bar{\lambda}_a = (a/t_w) \sqrt{R_y/E} = (200/1) / 30,26 = 6,61.$$

Критическое касательное напряжение

$$\tau_{cr} = 10,3(1 + 0,76/\mu^2) R_s / \bar{\lambda}_{ef}^2 =$$

$$= 10,3(1 + 0,76/1,6^2) \cdot 130 / 4,13^2 = 102 \text{ МПа},$$

где $\bar{\lambda}_{ef} = \bar{\lambda}_w$, поскольку меньшей стороной отсека является высота стенки h_w .

Таблица 5.9

Коэффициент c_1 для сварных балок

Балки	δ	Значения c_1 при a/h_w								
		$\leq 0,5$	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	≥ 2
Стальные	≤ 1	11,5	12,4	14,8	18,0	22,1	27,1	32,6	38,9	45,6
	2	12,0	13,0	16,1	20,4	25,7	32,1	39,2	46,5	55,7
	4	12,3	13,3	16,6	21,6	28,1	36,3	45,2	54,9	65,1
	6	12,4	13,5	16,8	22,1	29,1	38,3	48,7	59,4	70,4
	10	12,4	13,6	16,9	22,5	30,0	39,7	51,0	63,3	76,5
	≥ 30	12,5	13,7	17,0	22,9	31,0	41,6	53,8	68,2	83,6
Алюминиевые	—	3,80	4,13	4,93	6,0	7,37	9,03	10,9	13,0	15,2

Найденные напряжения и их критические значения подставляем в формулу

$$\sqrt{(\sigma/\sigma_{cr} + \sigma_{loc}/\sigma_{loc.cr})^2 + (\tau/\tau_{cr})^2} =$$

$$= \sqrt{(114/818 + 102/202)^2 + (75/102)^2} = 0,978 < 1.$$

Таким образом, принятая расстановка ребер жесткости обеспечивает устойчивость стенки, и нет необходимости укреплять ее под каждой балкой настила. Проверка отсека с наибольшим изгибающим моментом не требуется ввиду незначительной поперечной силы.

Так как балки перекрытий относятся к конструкциям группы 2, промежуточные ребра жесткости следовало бы устроить односторонними. Однако минимально допустимая ширина их выступающей части согласно формуле

$$b_h = h_w/24 + 50 = 1250/24 + 50 = 102 \text{ мм}$$

превышает ширину свеса уменьшенного пояса:

$$(b_f^1 - t_w)/2 = (200 - 10)/2 = 95 \text{ мм.}$$

Поэтому конструируем парные ребра, ширина которых удовлетворяет соотношению

$$b_h \geq h_w/30 + 40 = 1250/30 + 40 = 81,7 \text{ мм.}$$

Округляя, принимаем $b_h = 85$ мм. Толщина ребер

$$t_s = 2b_h \sqrt{R_y/E} \approx 6 \text{ мм.}$$

Предусматриваем механизированную приварку ребер к стенке сплошными двусторонними швами минимальной толщины ($k_f = 4$ мм).

Расчет и конструирование опорного узла сварной балки

Расчетное сопротивление смятию листового проката толщиной 4...20 мм из стали марки ВСтЗпсб составляет $R_p = R_u = 350$ МПа. Требуемая площадь смятия

$$A_p \geq V/R_p = 1130 \cdot 10^3 / (350 \cdot 10^6) = 32,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 32,3 \text{ см}^2.$$

Опорную реакцию можно полностью передать через ребра, плотно пригнанные к нижнему поясу балки после пристрожки. Их ширина, исходя из ширины поясов на опоре, составит $b_h = (b_f^1 - t_w) / 2 = 9,5$ см. Однако толщина каждого ребра с учетом скоса размером $d = 40$ мм для пропуска поясного шва получится слишком большой:

$$t_s \geq A_p / (2b_s) = A_p / [2(b_h - d)] = 32,3 / [2(9,5 - 4)] \approx 3 \text{ см}.$$

Поэтому вместо опорных ребер предусматриваем торцовую диафрагму. Ее ширину b_d назначаем равной ширине поясов балки на опоре b_f^1 . Тогда необходимая толщина диафрагмы

$$t_d \geq A_p / b_d = 32,3 / 20 = 1,62 \text{ см}.$$

Принимаем полосу сечением $b_d \times t_d = 200 \times 18$ мм, что удовлетворяет требованиям. При этом нижний край может быть выпущен не более чем на $a = 1,5t_d = 1,5 \cdot 18 = 27$ (мм), так как в противном случае расчет придется вести не на смятие, а на сжатие ($R_y = 225$ МПа).

Проверка устойчивости условной опорной стойки

Площадь таврового сечения

$$\begin{aligned} A_s &= st_w + b_d t_d = 0,65 t_w^2 \sqrt{E/R_y} + b_d t_d = \\ &= 0,65 \cdot 1^2 \cdot 30,26 + 20 \cdot 1,8 = 55,7 \text{ см}^2. \end{aligned}$$

Момент инерции площади сечения относительно оси Oz без учета момента инерции участка стенки (ввиду малости)

$$J_z \approx t_d b_d^3 / 12 = 1,8 \cdot 20^3 / 12 = 1200 \text{ см}^4.$$

Радиус инерции

$$i_z = \sqrt{J_z / A_s} = \sqrt{1200 / 55,7} = 4,64 \text{ см}.$$

Гибкость стойки с расчетной длиной, равной высоте стенки:

$$\lambda_z = h_w / i_z = 125 / 4,64 \approx 27.$$

Коэффициент продольного изгиба, принимаемый по таблицам, $\varphi = 0,942$.

Напряжение

$$\begin{aligned}\sigma &= V / (\varphi A_s) = 1130 \cdot 10^3 / (0,942 \cdot 55,7 \cdot 10^{-4}) = \\ &= 215 \cdot 10^6 \text{ Па} = 215 \text{ МПа} < R_y,\end{aligned}$$

т. е. устойчивость обеспечена.

Расчет сварных швов

Предусматриваем приварку диафрагмы по всему внутреннему контуру ее касания с балкой, но условно считаем, что опорная реакция передается только вертикальными швами. Тогда при двух таких швах, выполненных механизированной сваркой за один проход с использованием сварочной проволоки Св08А и не доведенных до обоих поясов на расстояние $\Delta = 60$ мм, находим

$$\begin{aligned}k_f \geq V / [2\beta_f (h_w - 2\Delta - \delta) R_{wf}] &= 1130 \cdot 10^3 / [2 \cdot 0,9(1,25 - 2 \cdot 0,06 - \\ &- 0,01) 180 \cdot 10^6] = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3,1 \text{ мм}.\end{aligned}$$

Расчетное сопротивление сварного соединения $R_{wf} = 180$ МПа принято по таблице. Поскольку марка проволоки соответствует марке стали, группе конструкции (в любом климатическом районе) и удовлетворяет условию $1,1R_{wz} \leq R_{wf} \leq R_{wz} \beta_z / \beta_f$, достаточно ограничиться расчетом по металлу шва; значения коэффициентов β_z и β_f приведены в табл. 5.10.

В соответствии с табл. 5.11 конструктивно назначаем $k_f = 6$ мм.

Указание об ограничении расчетной длины фланговых швов на рассматриваемый случай не распространяется, так как усилие сдвига от опорной реакции действует по всей высоте диафрагмы.

Сравнение обоих вариантов конструктивного решения опорной части сварной балки показывает, что вариант с торцовой диафрагмой предпочтительнее. При одинаковой толщине диафрагма за счет своей ширины и отсутствия скосов всегда будет иметь большую, чем опорные ребра, площадь смятия. Кроме того, наличие диафрагмы позволяет опирать балку на колонну как сверху, так и сбоку. Устройство же ребер допускает опирание только сверху.

Таблица 5.10

Значения коэффициентов β_f и β_z для угловых швов

Вид сварки при диаметре сварочной проволоки d , мм	Положение шва	Коэффициенты	Значения коэффициентов при катетах швов, мм			
			3...8	9...12	14...16	18 и больше
Автоматическая при $d = 3...5$ мм	В лодочку	β_f	1,1			0,7
		β_z	1,5			1,0
	Нижнее	β_f	1,1	0,9		0,7
		β_z	1,15	1,05		1,0
Автоматическая и механизированная при $d = 1,4...2$ мм	В лодочку	β_f	0,9		0,8	0,7
		β_z	1,05		1,0	
	Нижнее, горизонтальное, вертикальное	β_f	0,9	0,8		0,7
		β_z	1,05		1,0	
Ручная; механизированная проволокой сплошного сечения при $d < 1,4$ мм или порошковой проволокой	В лодочку, нижнее, горизонтальное, вертикальное, потолочное	β_f	0,7			

Расчет монтажного стыка балки

Предусматривается сварка ручная с применением визуального контроля качества швов.

Поскольку стык стенки не должен совпадать с местом примыкания поперечной балки и приварки ребер жесткости, назначаем стык не посередине пролета.

Таблица 5.11

Минимальные катеты k_f угловых швов

Вид сварки	Предел текучести стали, МПа	Значения k_f , мм, при толщине более толстого из свариваемых элементов, мм						
		4-5	6-10	11-16	17-22	23-32	33-40	41-80
Ручная	$R_{yn} \leq 430$	4	5	6	7	8	9	10
	$430 < R_{yn} \leq 580$	5	6	7	8	9	10	12
Механизированная	$R_{yn} \leq 430$	3	4	5	6	7	8	9
	$430 < R_{yn} \leq 580$	4	5	6	7	8	9	10

Примечания.

1. В конструкциях из стали с пределом текучести $R_{yn} > 580$ МПа, а также независимо от предела текучести при толщине элементов $t > 80$ мм минимальные катеты угловых швов принимают по специальным техническим условиям.

2. В конструкциях, возводимых в районах с расчетными температурами наружного воздуха ниже -40 °С, минимальные катеты швов увеличивают на 1 мм при толщине свариваемых элементов $t \leq 40$ мм и на 2 мм при $t > 40$ мм на расстоянии $3,5\ell_0$ от каждой из опор (см. рис. 10). Таким образом, два монтажных стыка разбивают балку на три отпавочных элемента.

Полный изгибающий момент в месте стыка

$$M = q^1 \cdot 3,5\ell_0 (\ell - 3,5\ell_0) / 2 = 188 \cdot 3,5 \cdot 1(12 - 3,5 \cdot 1) / 2 \approx 2800 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Изгибающий момент, воспринимаемый стенкой, составляет

$$M_w = MJ_w / J = 2800 \cdot 163 / 976 = 468 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Усилие в поясе

$$N_f = (M - M_w) / h_w = (2800 - 468) / 1,25 = 1866 \text{ кН}.$$

Поперечная сила в месте стыка

$$Q = q^1 (\ell / 2 - 3,5\ell_0) = 188(12/2 - 3,5 \cdot 1) = 470 \text{ кН}.$$

Нормальное напряжение в прямом стыковом шве растянутого пояса, с учетом того что расчетная длина шва принимается короче фактической на величину $\delta = 2t_{\min}$ в стальных конструкциях ($\ell_w = b - \delta$):

$$\begin{aligned} \sigma_f &= N_f / [t_f (b_f - 2t_f)] = 1866 \cdot 10^3 / [0,025(0,4 - 2 \cdot 0,025)] = \\ &= 213 \cdot 10^6 \text{ Па} = 213 \text{ МПа} > R_{wy} = 0,85R_y = \\ &= 0,85 \cdot 215 \text{ МПа} \approx 180 \text{ МПа}, \end{aligned}$$

где R_y — расчетное сопротивление основного металла поясов, $R_y = 215$ МПа.

Прочность прямого сварного шва оказалась недостаточной, поэтому стык должен быть косым.

Нормальные напряжения в шве стыка стенки

$$\begin{aligned} \sigma_w &= 6M_w / [t_w (h_w - 2t_w)^2] = 6 \cdot 468 \cdot 10^3 / [0,01(1,25 - 2 \cdot 0,01)^2] \text{ Па} = \\ &= 186 \text{ МПа} < R_{wy} = 0,85R_y = 0,85 \cdot 225 \text{ МПа} \approx 190 \text{ МПа}, \end{aligned}$$

где $R_y = 225$ МПа — расчетное сопротивление основного металла стенки.

Касательные напряжения

$$\begin{aligned}\tau_w &= 3Q/[2t_w(h_w - 2t_w)] = 3 \cdot 468 \cdot 10^3/[2 \cdot 0,01(1,25 - 2 \cdot 0,01)] \text{ Па} = \\ &= 57 \cdot 10^6 \text{ Па} \ll R_{ws} = 0,58R_y = 0,58 \cdot 225 \approx 130 \text{ МПа}.\end{aligned}$$

Следовательно, прочность шва обеспечена. Проверку приведенных напряжений можно не производить ввиду малости касательных напряжений.

Пример 5.2. Требуется запроектировать однопролетную шарнирно опертую балку *коробчатого сечения* пролетом $\ell = 12$ м, к нижнему поясу которой приложены вертикальная и горизонтальная сосредоточенные силы (рис. 12).

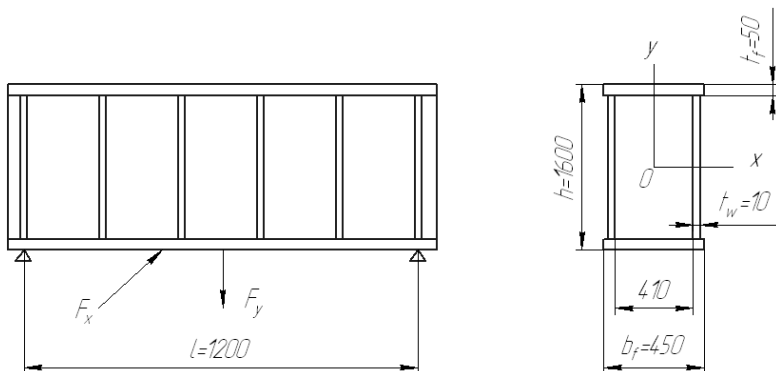


Рис. 12. Схема коробчатой балки и ее поперечного сечения

Исходные данные: $\ell = 12$ м, $F_{yn} = 1500$ кН, $F_{xn} = 250$ кН, материал – сталь С255 с $R_y = 23$ кН/см² при толщине проката 20...40 мм, $\gamma_f = 1,1$, $f_u = \ell/250 = 4,8$ см, допускается только упругая стадия работы материала.

Изгибающие моменты, их отношение и крутящий момент будут равны:

$$M_{x \max} = F_{yn} \gamma_f \frac{\ell}{4} = 1500 \cdot 1,1 \cdot \frac{12}{4} = 4950 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{y \max} = F_{xn} \gamma_f \frac{\ell}{4} = 250 \cdot 1,1 \cdot \frac{12}{4} = 825 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$\beta = M_{y \max} / M_{x \max} = 825 / 4950 = 0,167;$$

$$M_t = F_x \gamma_f \frac{h}{2} = 250 \cdot 1,1 \cdot 0,75 = 206,25 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Ориентировочно примем высоту сечения $h = 1,5$ м, гибкость одной стенки $\lambda_{w1} = 140$ и одной полки $\lambda_{f1} = 9$. При $\beta = 0,167$ и $\gamma = 140/9 = 15,56$.

Требуемый момент сопротивления

$$W_{xreq} = \frac{M_x}{R_y \gamma_c} (1 + \beta \cdot \gamma^{0,5}) = \frac{4950 \cdot 10^2}{23 \cdot 1} (1 + 0,167 \sqrt{15,56}) = 35699,2 \text{ см}^3.$$

Учитывая, что для шарнирно опертой балки при сосредоточенной силе в середине пролета

$$f_{\max} = \frac{F \ell^3}{48EI},$$

$$h_{\min} = \frac{F_{yn} \ell^3}{24 E W_{xred} f_u} = \frac{1500 \cdot 12^3 \cdot 10^6 \cdot 250}{24 \cdot 2,06 \cdot 10^4 \cdot 35699,2 \cdot 12 \cdot 10^2} = 30,6 \text{ см}.$$

Оптимальная высота сечения балки

$$h_{opt} = \sqrt[3]{1,5 \lambda_w \frac{M_x}{R_y \gamma_c} (1 + \gamma^{0,5} \beta)} = \sqrt[3]{1,5 \cdot 70 \cdot 35699,2} = 155,3 \text{ см}.$$

Принимаем $h_w = 1400$ мм, $h = 1500$ мм, $t_w = 1400/140 = 10$ мм, $b_f = 450$ мм (в пределах, рекомендованных условием обеспечения местной устойчивости поясов):

$$\frac{h}{5 - 4\beta} \leq b_f \leq \frac{h}{3 - 2\beta}.$$

Тогда

$$I_x = W_{xreq} \frac{h}{2} = 35699,2 \cdot 75 = 26777440 \text{ см}^4;$$

$$I_w = 2 \frac{h_w^3 t_w}{12} = 2 \frac{140^3 \cdot 1}{12} = 457333 \text{ см}^4;$$

$$I_f = I_x - I_w = 26777440 - 457333 = 2220107 \text{ см}^4;$$

$$t_f = \frac{2I_f}{b_f h^2} = \frac{2 \cdot 2220107}{45 \cdot 150^2} = 4,39 \text{ см}.$$

Примем $t_f = 50$ мм.

Фактические геометрические характеристики: $h_w = 1400$ м,
 $t_w = 10$ мм, $b_f = 450$ мм, $t_f = 50$ мм;

$$I_x = 2 \cdot 1 \frac{140^3}{12} + 2 \cdot 5 \cdot 45 \cdot 72,5^2 = 2822645,5 \text{ см}^4;$$

$$I_y = 2 \cdot 5 \frac{45^3}{12} + 2 \cdot 1 \cdot 140 \cdot 21^2 = 199417,5 \text{ см}^4;$$

$$W_x = 2822645,5 / 75 = 37635,27 \text{ см}^3;$$

$$W_y = 199417,5 / 22,5 = 8863,0 \text{ см}^3;$$

$$\sigma = \sigma_x + \sigma_y = \frac{4950 \cdot 10^2}{37635,27} + \frac{825 \cdot 10^2}{8863} = 22,46 \text{ кН/см}^2 < 23 \text{ кН/см}^2.$$

При стесненном кручении в сечениях балки возникает изгибно-крутящий бимомент, который в случае загрузки крутящим моментом в середине пролета определяется как

$$B_w = \frac{M_t}{2k} th\left(\frac{k\ell}{2}\right),$$

где

$$k = \sqrt{\frac{19,2 \cdot t_w t_f}{(bt_w + ht_f)(bt_f + ht_w)}} = \sqrt{\frac{0,4 \cdot 48,1 \cdot 5 \cdot 10^{14}}{(45 \cdot 1 + 160 \cdot 5)(45 \cdot 5 + 160 \cdot 1)10^{-8}}} = 1,6 \text{ м}^{-1};$$

$$\frac{k\ell}{2} = \frac{1,6 \cdot 12}{2} = 9,6; th\left(\frac{k\ell}{2}\right) \approx 1.$$

Тогда

$$B_{w\max} = \frac{206,25}{2 \cdot 1,6} \cdot 1 = 64,46 \text{ кН/м}^2.$$

Искомое нормальное напряжение

$$\sigma_{w\max} = \frac{B_w}{I_w} w = \frac{64,46 \cdot 0,16}{6,63 \cdot 10^{-4}} = 1,555 \text{ кН/см}^2.$$

Здесь

$$I_w = \frac{1}{24} b^2 h^2 \left(\frac{bt_w - ht_f}{bt_w + ht_f} \right)^2 (bt_f + ht_w) =$$

$$= \frac{1}{24} \cdot 45^2 \cdot 160^2 \cdot 10^{-8} \left(\frac{45 \cdot 1 - 160 \cdot 5}{45 \cdot 1 + 160 \cdot 5} \right)^2 (45 \cdot 5 + 160 \cdot 1) 10^{-4} = 6,63 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4;$$

$$w = -\frac{bh}{4} \left(\frac{bt_w - ht_f}{bt_w + ht_f} \right) = -\frac{45 \cdot 160 \cdot 10^{-4}}{4} \left(\frac{45 \cdot 1 - 160 \cdot 5}{45 \cdot 1 + 160 \cdot 5} \right) = 0,16 \text{ м}^2.$$

Так как с учетом σ_w условие прочности не будет выполнено, увеличим высоту стенки до 150 см. Тогда

$$I_x = 2 \cdot 1 \frac{150^3}{12} + 2 \cdot 5 \cdot 45 \cdot 77,5^2 = 3265312,5 \text{ см}^4;$$

$$W_x = 3265312,5/80 = 40816,41 \text{ см}^3;$$

$$I_y = 2 \cdot 5 \frac{45^3}{12} + 2 \cdot 1 \cdot 150 \cdot 21^2 = 208237,5 \text{ см}^4;$$

$$W_y = 208237,5/22,5 = 9255 \text{ см}^3;$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \sigma_x + \sigma_y + \sigma_w = \frac{4950 \cdot 10^2}{40816,41} + \frac{825 \cdot 10^2}{9255} + 1,555 = \\ &= 12,128 + 8,914 + 1,555 = 22,597 \text{ кН/см}^2 < 23 \text{ кН/см}^2. \end{aligned}$$

Прочность стенок у опоры проверяем на срез

$$\tau = \frac{1,5 Q_{\max}}{2t_w h_w} = \frac{1,5 \cdot 1500 \cdot 1,1}{2 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 150} = 4,13 \text{ кН/см}^2 \leq R_s \gamma_c;$$

$$R = 0,58 R_y = 0,58 \cdot 23 = 13,34 \text{ кН/см}^2.$$

Ввиду большого запаса по касательным напряжениям от Q_x (основной фактор) учет касательных напряжений от кручения и от Q_y можно не производить, так как он не повлияет на общую оценку несущей способности.

В местах сопряжения полок со стенками возникает сдвигающее усилие, максимальное у опор с интенсивностью

$$T = \frac{Q_{\max} S}{2I_x} = \frac{1500 \cdot 1,1 \cdot 5 \cdot 45 \cdot 77,5}{2 \cdot 2 \cdot 3265312,5} = 2,2 \text{ кН/см}.$$

Соединения проектируем сварными с односторонними швами. Сварка автоматическая, под слоем флюса проволокой Св10ГА с

$$R_{\text{шн}} = 49 \text{ кН/см}^2, R_{\text{wf}} = 21,5 \text{ кН/см}^2,$$

$$R_{\text{wz}} = 0,45 R_{\text{шн}} = 0,45 \cdot 36,0 = 16,2 \text{ кН/см}^2, \beta_f = 0,9, \beta_t = 1,0;$$

$$\gamma_{\text{wf}} = 1; \gamma_{\text{wz}} = 0,85; (\beta R_{\omega} \gamma_{\omega})_{\min} = 1 \cdot 16,2 \cdot 0,85 = 13,8 \text{ кН/см}^2,$$

т. е. шов имеет максимальную прочность по границе сплавления.

Тогда требуемый катет шва

$$k_f \geq \frac{T}{(\beta R_{\omega} \gamma_{\omega})_{\min} \gamma_c} = \frac{2,2}{13,8 \cdot 1} = 0,16 \text{ см.}$$

В соответствии с требованиями норм при $t_f = 50$ мм $k_{f_{\min}} = 9$ мм.

Проверка балки на общую устойчивость

$$a = 0,5 t_w \sqrt{E/R_y} = 0,5 \cdot 1 \sqrt{2,06 \cdot 10^4 / 23} = 15 \text{ см;}$$

$$I_{fy}^* = \frac{t_f b_f^3}{12} + 2 a t_w 21^2 = \frac{5 \cdot 45^3}{12} + 2 \cdot 15 \cdot 1 \cdot 21^2 = 51198,75 \text{ см}^4;$$

$$A_f^* = 5 \cdot 45 + 2 \cdot 1 \cdot 15 = 285 \text{ см}^2;$$

$$i_{fy}^* = \sqrt{I_{fy}^* / A_f^*} = \sqrt{51198,75 / 285} = 13,4 \text{ см.}$$

При закреплении балки из плоскости у опор $\ell_{efy} = 1200$ см, тогда

$$\lambda_{fy}^* = \frac{1200}{13,4} = 89,55;$$

$$\varphi_y = 0,625;$$

$$\sigma_x = \varphi_y R_y \gamma_c = 0,625 \cdot 23 \cdot 1 = 14,38 \text{ кН/см}^2.$$

Общая устойчивость балки при изгибе в плоскости yOz (от M_x) обеспечена.

Проверка деформативности

$$f_y = \frac{F_y \ell^3}{24 E W_x h} = \frac{1500 \cdot 12^3 \cdot 10^6}{24 \cdot 2,06 \cdot 10^4 \cdot 40816,41 \cdot 160} = 0,81 \text{ см} < 4,8 \text{ см;}$$

$$f_x = \frac{F_x \ell^3}{24 E W_b y} = \frac{250 \cdot 12^3 \cdot 10^6}{24 \cdot 2,06 \cdot 10^4 \cdot 9255 \cdot 45} = 0,21 \text{ см} < 4,8 \text{ см;}$$

$$f = \sqrt{f_y^2 + f_x^2} = \sqrt{0,81^2 + 0,21^2} = 0,84 \text{ см} < 4,8 \text{ см.}$$

Таким образом, жесткость балки обеспечена.

Местная устойчивость пояса обеспечена, так как

$$\frac{t_f}{b_f} = \frac{50}{450} > \sqrt{\frac{23}{2,06 \cdot 10^4}}.$$

Местная устойчивость стенок обеспечена постановкой диафрагм с шагом, равным $2h_w = 3$ м, и проверкой устойчивости характерных отсеков. Диафрагмы предусмотрены в опорных сечениях, в месте приложения сосредоточенных внешних сил и в четвертях пролета.

Требования к конструированию балок

Применять пакеты листов для поясных сварных двутавровых балок не рекомендуется.

Размеры поясных листов должны удовлетворять условиям их устойчивости (табл. 5.12).

Поясные швы сварных балок, а также швы, присоединяющие к основному сечению балки вспомогательные элементы (например, ребра жесткости), должны выполняться непрерывными.

Поясные швы в балках, воспринимающих нагрузки от подвижного состава, должны выполняться с проваром на всю толщину стенки.

Таблица 5.12

Наибольшие отношения ℓ/b , при которых не требуется проверка общей устойчивости сварных балок из низкоуглеродистой стали обычной прочности (СНиП II–В.3-62)

h/b	Наибольшие значения ℓ/b для сварных балок с соотношением размеров					
	$h/S_1 = 100$			$h/S_1 = 50$		
	при нагрузке, приложенной		при наличии связей в пролете независимо от места приложения нагрузки	при нагрузке, приложенной		при наличии связей в пролете независимо от места приложения нагрузки
	по верхнему поясу	по нижнему поясу		по верхнему поясу	по нижнему поясу	
2	16	25	19	17	26	20
4	15	23	17	16	24	18
6	13	21	16	15	22	17

Примечания.

1. Приняты обозначения: ℓ – расчетная длина балки между точками закрепления сжатого пояса от поперечных смещений, а при отсутствии связей l – полный пролет балки; b и S_1 – ширина и толщина сжатого пояса балки; h – полная высота балки.
2. Для балок из стали других классов указанные в таблице значения ℓ/b следует умножать на величину $\sqrt{2100/R}$, где R – основное расчетное сопротивление для заданного класса стали, кгс/см².

Заводские стыки поясных швов и стенок надлежит выполнять встык, без накладок, с применением двусторонней сварки.

Одностороннюю сварку допускается применять только при условии подварки корня шва.

Поверхности стыковых швов поясных листов рекомендуется зачищать заподлицо с основным металлом.

Концы швов встык надлежит выводить за пределы стыка (на подкладки или выводные планки).

Количество стыков в растянутых элементах должно быть ограничено.

Для обеспечения равнопрочности с основным металлом заводские стыки балки следует выполнять автоматической сваркой либо ручной сваркой с контролем качества физическими методами.

В местах приложения больших неподвижных сосредоточенных грузов и на опорах следует устанавливать поперечные ребра жесткости.

5.2. Сварные колонны (стойки)

Пример 5.3. Подобрать двутавровое сечение стержня сплошной колонны высотой $H = 9$ м для опирания балок перекрытия, рассчитанных в примерах подраздела 5.1.

Колонна в обоих направлениях закреплена внизу и шарнирно закреплена сверху.

Материал – сталь марки ВСт3псб-1.

Подсчет нагрузки

Колонна работает на центральное сжатие под действием давления, оказываемого опирающимися балками. Расчетная сжимающая сила $F = 2V = 2 \cdot 1130 = 2260$ кН.

Расчетная схема колонны, согласно условию, имеет вид, представленный на рис. 13. Следовательно, расчетная длина в обоих направлениях $\ell_x = \ell_y = \ell_{ef} = \mu H = 0,7 \cdot 9 = 6,3$ м.

Определение требуемой площади сечения. Задаемся в первом приближении значением $\varphi_0 = 0,8$, чему, согласно таблицам, соответствует гибкость $\lambda_0 \approx 62$ (для стержня из листового проката с расчетным сопротивлением $R_y = 230$ МПа). Тогда при $N = F$ получаем

$$A = N/(\varphi_0 R_y) = 2260 \cdot 10^3 / (0,8 \cdot 230 \cdot 10^6) \approx 123 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 123 \text{ см}^2.$$



Рис. 13. Расчетная схема колонны

Определение габаритов сечения (рис. 14)

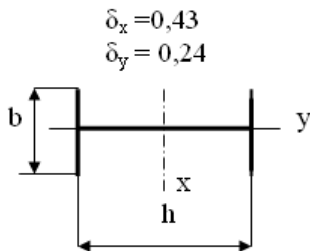


Рис. 14. Схема поперечного сечения колонны

Находим

$$i_x = i_y = \ell_{cf} / \lambda_0 = 630 / 62 = 10,2 \text{ см.}$$

а из соотношений, определяющих требуемые высоту и ширину сечения,

$$h = i_x / \delta_x = 10,2 / 0,43 = 23,7 \text{ см;}$$

$$b = i_y / \delta_y = 10,2 / 0,24 = 42,5 \text{ см.}$$

Для удобства автоматической приварки поясов к стенке принимаем $b = h_w = 36 \text{ см.}$

При подборе толщины стенки и поясов следует стремиться к такому распределению общей площади сечения, чтобы около 80 % приходилось на долю поясов. Тогда

$$t_w = 0,2A / h_w = 0,2 \cdot 123 / 36 = 0,68 \text{ см.}$$

Округляя, назначаем $t_w = 0,8 \text{ см.}$ Тогда на долю поясов приходится площадь

$$A_f = A - h_w t_w = 123 - 36 \cdot 0,8 = 123 - 28,8 = 94,2 \text{ см}^2.$$

Отсюда требуемая толщина одного пояса

$$t_f = A_f / (2b) = 94,2 / (2 \cdot 36) = 1,31 \text{ см.}$$

Округляя, назначаем $t_f = 1,4 \text{ см.}$

Проверка подобранного сечения

Фактическая площадь

$$A_1 = A_w + 2A_f = h_w t_w + 2bt_f = 28,8 + 2 \cdot 36 \cdot 1,4 = 28,8 + 101 \approx 130 \text{ см}^2;$$

минимальный момент инерции

$$J_{\min} = J_y \approx 2J_f = 2t_f b^3 / 12 = 2 \cdot 1,4 \cdot 36^3 / 12 = 10900 \text{ см}^4.$$

Моментом инерции площади сечения стенки относительно оси Oy пренебрегаем ввиду малости.

Минимальный радиус инерции

$$i_{\min} = \sqrt{J_y / A_1} = \sqrt{10900 / 130} = 9,16 \text{ см.}$$

Наибольшая гибкость

$$\lambda_{\max} = \ell_{ef} / i_{\min} = 630 / 9,16 \approx 69 < \lambda_u = 120.$$

Условная гибкость

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y / E} = 69 \sqrt{230 / (206 \cdot 10^3)} = 69 / 29,9 = 2,3.$$

Коэффициент продольного изгиба

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= 1 - (0,073 - 5,53 R_y / E) \bar{\lambda} \sqrt{\bar{\lambda}} = \\ &= 1 - [0,073 - 5,53 \cdot 230 / (206 \cdot 10^3)] 2,3 \sqrt{2,3} = 0,767. \end{aligned}$$

Значения φ_0 и φ_1 отличаются незначительно, поэтому переходим непосредственно к проверке сечения:

$$\begin{aligned} \sigma &= N / (\varphi_1 A_1) = 2260 \cdot 10^3 / (0,767 \cdot 130 \cdot 10^{-4}) = 227 \cdot 10^6 \text{ (Па)} = \\ &= 227 \text{ МПа} < R_y = 230 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Недонапряжение составляет

$\Delta\sigma = [(R_y - \sigma) / R_y] \cdot 100 = [(230 - 227) / 230] \cdot 100 \% = 1,3 \% < 5 \%$,
что указывает на отсутствие излишков материала.

Проверка условий обеспечения устойчивости стенки и поясов

Условие обеспечения устойчивости имеет вид:

$$\begin{aligned} h_w / t_w &= 36 / 0,8 = 45 < (0,36 + 0,8 \bar{\lambda} \sqrt{E / R_y}) = (0,36 + 0,8 \cdot 2,3) 29,9 \approx \\ &\approx 66 < 2,9 \sqrt{E / R_y} = 2,9 \cdot 29,9 \approx 87. \end{aligned}$$

Следовательно, укрепление стенки продольным ребром жесткости не требуется. К тому же

$$h_w / t_w = 45 < 2,2 \sqrt{E / R_y} = 2,2 \cdot 29,9 \approx 66,$$

т. е. и в поперечных ребрах нет необходимости.

Устойчивость поясов также обеспечена, поскольку отношение

$$(b_f - t_w) / (2t_f) = (36 - 0,8) / (2 \cdot 14) = 12,6$$

не превышает значения (рис. 15, табл. 5.13):

$$b_{ef} / t_w = (0,36 + 0,1 \bar{\lambda}) \sqrt{E / R_y} = (0,36 + 0,1 \cdot 2,3) 29,9 = 17,6.$$

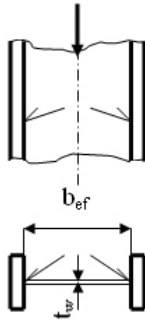


Рис. 15. Ширина и толщина стенки колонны

Таблица 5.13

Предельные значения отношения b_{ef}/t_w

Марки стали	Значения b_{ef}/t_w при гибкости стержня λ				
	25	50	75	100	125
Ст3 и Ст4	14	15	16,5	18	20
14Г2, 15ГС, 10Г2С, 10Г2СД, 15ХСНД	12	13	14,5	16,5	18,5
10ХСНД	11	12,5	14	16	17,5

Таким образом, окончательно принимаем сечение, представленное на рис. 16.

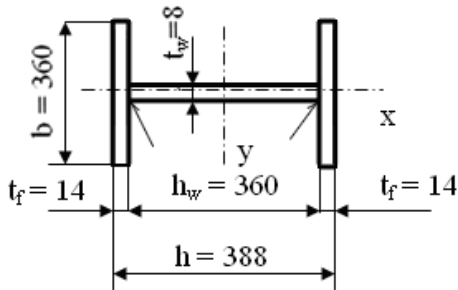


Рис. 16. Характеристика сечения стержня

Пример 5.4. Подобрать сечение колонны высотой 7 м с шарнирным закреплением концов в обеих плоскостях. Материал конструкции – сталь С235 с расчетным сопротивлением $R_y = 24$ кН/см². Расчетное усилие $N = 3500$ кН. Коэффициент условий работы $\gamma_c = 1$.

Назначаем двутавровое сечение, сваренное из трех листов. Расчетные длины при шарнирном закреплении концов равны геометрическим: $\ell_{0x} = \ell_{0y} = 7$ м.

Задаемся гибкостью $\lambda = 70$ ($\varphi = 0,754$), определяем требуемую площадь сечения

$$A = N/\varphi R_y = 3500/(0,77 \cdot 24) = 193,4 \text{ см}^2.$$

Вычисляем требуемые радиусы инерции и габариты сечения:

$$i_x = i_y = 700/7 = 10 \text{ см};$$

$$h = i/\alpha_1 = 10/0,43 = 23,3 \text{ см};$$

$$b = i/\alpha_2 = 10/0,24 = 41,7 \text{ см}.$$

По технологическим соображениям (из условия автоматической сварки поясных швов) назначаем $b = h = 40$ см и проводим дальнейший расчет только относительно оси y – y , так как относительно оси x – x гибкость стержня будет почти в два раза меньше.

Определим минимально допустимые по условиям местной устойчивости толщины поясов и стенки. Предварительно находим

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y/E} = 70 \sqrt{24/20600} = 2,39;$$

$$\sqrt{E/R_y} = \sqrt{20600/24} = 29,3.$$

Толщина стенки

$$t_w = h/[(1,2 + 0,35\bar{\lambda})\sqrt{E/R_y}] = 40/[(1,2 + 0,35 \cdot 2,39)29,3] = 0,67 \text{ см}.$$

Толщины полок

$$t_f \approx b_f/[2(0,36 + 0,1\bar{\lambda})\sqrt{E/R_y}] = 40/[2(0,36 + 0,1 \cdot 2,39)29,3] = 1,14 \text{ см}.$$

Компонуем сечение так, чтобы получить общую площадь 193 см² с передачей большей ее части на полки, использовать стандартный металлопрокат, сохранить генеральные размеры назначенного сечения и обеспечить местную устойчивость элементов, приняв толщину стенки не менее 6,7 мм, а полку – не менее 11,4 мм. Назначаем стенку из листа 9×380 мм, полки – из листов 20×400 мм.

Вычислим геометрические характеристики сечения:

$$A = 2 \cdot 2 \cdot 40 + 0,9 \cdot 38 = 194,2 \text{ см}^2;$$

$$J_y = 2t_f b_f^3 / 12 = 2 \cdot 2 \cdot 40^3 / 12 = 21333 \text{ см}^4;$$

$$i_y = \sqrt{J_y / A} = \sqrt{21333 / 194,2} = 10,48 \text{ см.}$$

Находим фактическую гибкость стержня, коэффициент φ и проверяем устойчивость:

$$\lambda = \ell_{0y} / i_y = 700 / 10,48 = 66,79;$$

$$\varphi = 0,769;$$

$$\frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c} = \frac{3500}{0,769 \cdot 194,2 \cdot 24} = 0,976 < 1.$$

Сечение принято.

Пример 5.5. Планка сечением $b \times t = 200 \times 10$ мм приварена вертикальным и горизонтальным швами к полке двутавра большой толщины (рис. 17).

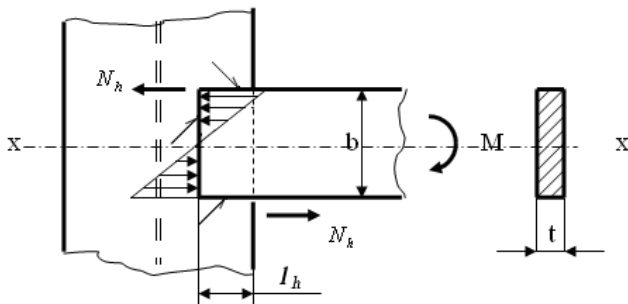


Рис. 17. Схема нагружения планки

Рассчитать и законструировать прикрепление, равнопрочное планке при чистом изгибе. Конструкция относится к группе 3 и выполнена из стали марки ВСтЗпсб-1. Сварка ручная электродами Э42. Условия эксплуатации нормальные при температуре не ниже -40°C .

Решение. Вычислив предварительно момент сопротивления сечения планки относительно нейтральной оси

$$W_x = tb^2 / 6 = 10 \cdot 200^2 \cdot 10^{-9} / 6 = 66,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

и установив по таблицам расчетное сопротивление стали планки $R_y = 230$ МПа, определяем несущую способность планки на изгиб:

$$M_{\max} = R_y W_x = 230 \cdot 10^6 \cdot 66,7 \cdot 10^{-6} = 15340 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Этот изгибающий момент уравнивается моментом пары сил в горизонтальных швах M_h и моментом вертикального шва M_v :

$$M_{\max} = M_h + M_v.$$

Принимая катет швов $k_f = 8$ мм, находим из условия прочности металла шва момент, воспринимаемый вертикальным швом:

$$M_v = R_{wf} \beta_f k_f (b - \delta)^2 / 6 = 180 \cdot 10^6 \cdot 0,7 \cdot 8 (200 - 10)^2 \cdot 10^{-9} / 6 = 6065 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тогда момент, воспринимаемый горизонтальными швами,

$$M_h = M_{\max} - M_v = 15340 - 6065 = 9275 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Усилие, приходящееся на один горизонтальный шов,

$$N_h = M_h / (b + k_f) = 9275 / [(200 + 8) \cdot 10^{-3}] \approx 45 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Минимальная расчетная длина фланговых швов $\ell_{w \min}$ должна быть не менее $4k_f$ или 40 мм, так как на работе более коротких швов сильно сказывается не учитываемое расчетом влияние эксцентриситета и возникающего по этой причине дополнительного изгибающего момента. Это ограничение распространяется и на лобовые швы. Таким образом, для швов толщиной $k_f \leq 10$ мм $\ell_{w \min} = 40$ мм, а для швов толщиной $k_f > 10$ мм $\ell_{w \min} = 4k_f$.

Требуемая расчетная длина горизонтального шва

$$\ell_{wf} \geq N_h / (\beta_f k_f R_{wf}) = 45 \cdot 10^3 / (0,7 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \cdot 10^6) = 0,045 \text{ м} = 45 \text{ мм},$$

что больше $\ell_{w \min} = 40$ мм и меньше

$$\ell_{w \min} = 85 \beta_f k_f = 85 \cdot 0,7 \cdot 8 = 476 \text{ мм}.$$

Конструктивная длина

$$\ell_h = \ell_{wf} + \delta = 45 + 10 = 55 \text{ мм}.$$

Пример 5.6. Проверить прочность соединения, рассмотренного в предыдущем примере, если к планке приложена расчетная сила $F = 50$ кН, отстоящая на расстояние $e = 250$ мм от кромки двутавра (рис. 18).

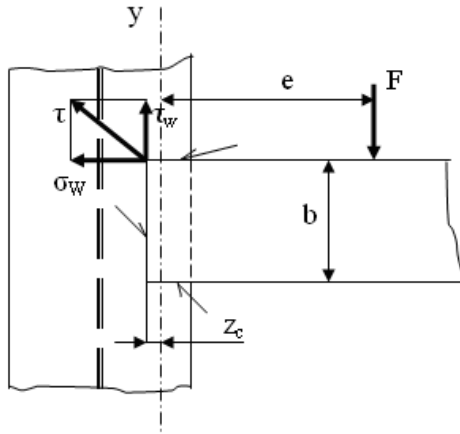


Рис. 18. К оценке прочности сварного соединения планок

Решение. Определяем положение центра тяжести периметра сварных швов относительно оси, проходящей через вертикальное ребро планки:

$$z_c = \frac{S_h + S_v}{A_h + A_v} = \frac{2\ell_h k_f \ell_h / 2 + b k_f (-k_f / 2)}{2\ell_h k_f + b k_f} =$$

$$= \frac{[2 \cdot 55 \cdot 8 \cdot 55 / 2 + 200 \cdot 8 \cdot (-8 / 2)] 10^{-9}}{(2 \cdot 55 \cdot 8 + 200 \cdot 8) 10^{-6}} = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 7,2 \text{ мм.}$$

Таким образом, соединение работает на поперечный изгиб под действием изгибающего момента

$$M = F(e + \ell_h - z_c) = 50 \cdot 10^3 (250 + 55 - 7,2) \cdot 10^{-3} = 14890 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

и поперечной силы $Q = F = 50 \text{ кН}$.

Из сопротивления материалов известно, что при поперечном изгибе касательные напряжения в наиболее удаленных от нейтральной оси волокна равны нулю. Поэтому полагаем, что поперечная сила воспринимается только вертикальным швом. Тогда, согласно формуле

$$\tau_{wf} = N / \Sigma A_{wf} = N / (\beta_f k_f \Sigma \ell_w) \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c,$$

где N – расчетная продольная сила, действующая в соединении, Н; ΣA_{wf} – расчетная суммарная площадь среза угловых швов в соединении без учета усиления шва, м²; β_f – коэффициент глубины

провара шва, зависящий от условий сварки; k_f — толщина углового шва, равная катету вписанного равнобедренного прямоугольного треугольника, м; $\sum \ell_w$ — расчетная суммарная длина угловых швов в соединении, м; R_{wf} — расчетное сопротивление соединения срезу, Па (величина табулированная); γ_{wf} — коэффициент условий работы шва, равный 1 во всех случаях, кроме стальных конструкций, возводимых в климатических районах с расчетной наружной температурой ниже -40°C , для которых $\gamma_{wf} = 0,85$ при нормативном сопротивлении металла шва $R_{wun} = 410$ МПа, среднее касательное напряжение в нем

$$\begin{aligned}\tau_{wf} &= Q/[\beta_{kf}(b - \delta)] = 50 \cdot 10^3/[0,7 \cdot 8(200 - 10) \cdot 10^{-3}] = \\ &= 47 \cdot 10^6 \text{ Па} = 47 \text{ МПа}.\end{aligned}$$

Наиболее напряженными являются точки пересечения вертикального шва с горизонтальными швами, где суммируются напряжения от обоих силовых факторов. На основании зависимостей предыдущего примера

$$\begin{aligned}M_{\max} &= M_h + M_v = N_h(b + k_f) + M_v = \\ &= R_{wf}\beta_f k_f(\ell_h - \delta)(b + k_f) + R_{wf}\beta_f k_f(b - \delta)^2/6 = R_{wf}W_f\end{aligned}$$

где $W_f = \beta_f k_f(\ell_h - \delta)(b + k_f) + \beta_f k_f(b - \delta)^2/6$.

Тогда напряжение, вызываемое действующим изгибающим моментом,

$$\begin{aligned}\sigma_{wf} &= M/W_f = M/\{\beta_f k_f[(\ell_h - \delta)(b + k_f) + (b - \delta)^2/6]\} = \\ &= 14890/\{0,7 \cdot 8[55 - 10)(200 + 8) + (200 - 10)^2/6\} \cdot 10^{-9} = \\ &= 173 \cdot 10^6 \text{ Па} = 173 \text{ МПа}.\end{aligned}$$

Подставляя значения нормальных и касательных напряжений в условие прочности $\tau_f = \sqrt{\sigma_{wf}^2 + \tau_{wf}^2} \leq R_{wf}\gamma_{wf}\gamma_c$, получаем

$$\tau_f = \sqrt{173^2 + 47^2} \text{ МПа} < R_{wf} = 180 \text{ МПа},$$

т. е. прочность соединения обеспечена.

Пример 5.7. Подобрать сечение планок и рассчитать их прикрепление к ветвям сквозной колонны (рис. 19). Стержень выполнен из двух швеллеров № 27 ($A = 2 \cdot 35,2 = 70,4 \text{ см}^2$); расстояние между ветвями $b_0 = 250$ мм; расстояние между осями планок $\ell_b = 1000$ мм; высота планки $d = 200$ мм.

Материал конструкций – сталь С245 ($R_y = 24 \text{ кН/см}^2$); сварка ручная электродами Э42: $\beta_f = 0,7$; $\beta_z = 1,0$; $R_{wf} = 18,0 \text{ кН/см}^2$, $R_{wz} = 0,45R_{un} = 16,6 \text{ кН/см}^2$; коэффициенты условий работы $\gamma_{wf} = \gamma_{wz} = \gamma_c = 1$.

Соединительные элементы центрально сжатых составных стержней рассчитывают на условную поперечную силу $Q_{\text{УСЛ}}$, которая может возникнуть при изгибе от потери устойчивости. Значения условной поперечной силы находят в зависимости от марки материала и площади поперечного сечения стержня (табл. 5.14).

Таблица 5.14

Значения условной поперечной силы

Марка материала	$Q_{\text{УСЛ}}$, кгс
Сталь марок Ст3, Ст4	$20 F$
Сталь марок 14Г2, 15ГС, 10Г2С, 10Г2СД, 15ХСНД, 10ХСНД	$40 F$
Алюминиево-магниевые сплавы АМг, АМг6, АМг6Т	$30 F$

Примечание. Площадь всего сечения стержня F берется в см^2 .

Условную поперечную силу определим как

$$Q_{\text{fic}} = 0,26A = 0,26 \cdot 70,4 = 18,3 \text{ кН.}$$

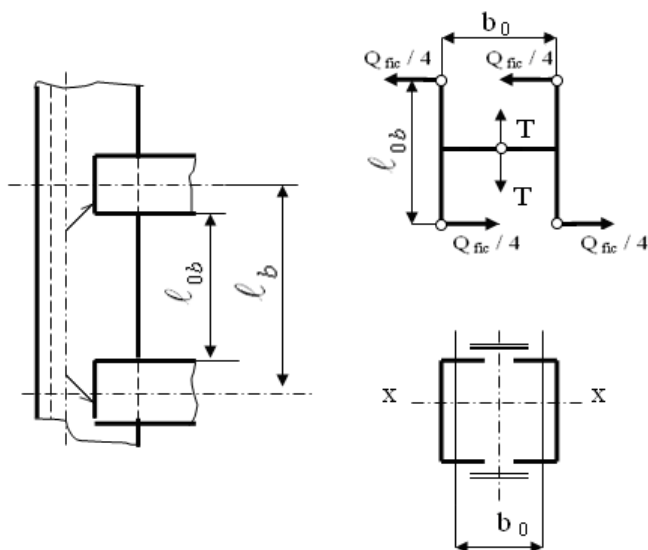


Рис. 19. К расчету планок

Сдвигающую силу и изгибающий момент вычислим как

$$T = Q_{\text{fic}} \ell_b / (2b_0) = 18,3 \cdot 100 / (2 \cdot 25) = 36,6 \text{ кН};$$

$$M = Q_{\text{fic}} \ell_b / 4 = 18,3 \cdot 100 / 4 = 458 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Найдем требуемую толщину планки из условия ее прочности при изгибе:

$$t_s = 6M / (h_d^2 R_y \gamma_c) = 6 \cdot 458 / (20^2 \cdot 24) = 0,29 \text{ см}.$$

Принимаем минимальную конструктивную толщину планки 6 мм. Назначаем катет шва 6 мм.

Проверяем прочность по металлу шва. Расчетная площадь шва

$$A_w = \beta_f k_f \ell_w = 0,7 \cdot 0,6 \cdot (20 \cdot 1) = 7,98 \text{ см}^2.$$

Момент сопротивления шва

$$W_w = \beta_f k_f \ell_w^2 / 6 = 0,7 \cdot 0,6 \cdot (20 \cdot 1)^2 / 6 = 25,27 \text{ см}^3.$$

Касательное напряжение от поперечной силы

$$\tau_1 = T / A_w = 36,6 / 7,98 = 4,59 \text{ кН/см}^2.$$

Касательное напряжение от изгиба

$$\tau_2 = M / W_w = 458 / 25,27 = 18,12 \text{ кН/см}^2.$$

Проверяем прочность шва:

$$\tau = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2} = \sqrt{4,59^2 + 18,12^2} = 18,7 > R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c = 18 \text{ кН/см}^2.$$

Прочность не обеспечена. Назначаем новую высоту планки $d = 210$ мм и повторяем расчет:

$$A_w = 0,7 \cdot 0,6 \cdot (21 - 1) = 8,4 \text{ см}^2;$$

$$W_w = 0,7 \cdot 0,6 \cdot (21 - 1)^2 / 6 = 28 \text{ см}^3;$$

$$\tau_1 = 36,6 / 8,4 = 4,36 \text{ кН/см}^2;$$

$$\tau_2 = 458 / 28 = 16,36 \text{ кН/см}^2;$$

$$\tau = \sqrt{4,36^2 + 16,36^2} = 16,9 \text{ кН/см}^2 < 18 \text{ кН/см}^2,$$

то есть прочность по металлу шва обеспечена.

Проверяем прочность шва по границе сплавления. Расчетная площадь сечения

$$A_w = \beta_z k_f \ell_w = 1 \cdot 0,6 \cdot 20 = 12 \text{ см}^2.$$

Момент сопротивления расчетного сечения

$$W_w = \beta_z k_f \ell_w^2 / 6 = 1 \cdot 0,6 \cdot 20^2 / 6 = 40 \text{ см}^3.$$

Касательные напряжения:

$$\tau_1 = 36,6/12 = 3,05 \text{ кН/см}^2;$$

$$\tau_2 = 458/40 = 11,45 \text{ кН/см}^2;$$

$$\tau = \sqrt{3,05^2 + 11,45^2} = 11,85 \text{ кН/см}^2 < R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c = 16,5 \text{ кН/см}^2.$$

Прочность обеспечена. Принято сечение планки 210×6 мм.

Пример 5.8. Рассчитать стержень сквозной колонны, состоящей из двух прокатных профилей, соединенных планками. Колонна работает по схеме, рассмотренной в примере 5.5, и предназначена для возведения в климатическом районе с расчетной наружной температурой воздуха не ниже -40°C .

Расчет относительно материальной оси. Задаваясь, как и раньше, коэффициентом $\varphi_0 = 0,8$, по таблицам сортамента (ГОСТ 8240-89) подбираем два швеллера № 40 с суммарной площадью сечения

$$A_2 = 2A_{ch} = 2 \cdot 61,5 \text{ см}^2 = 123 \text{ см}^2 = A$$

и радиусом инерции

$$i_x^{\perp} = 15,7 \text{ см} > i_x = 10,2 \text{ см}.$$

Тогда гибкость

$$\lambda_x = \ell_{ef}/i_x^{\perp} = 630/15,7 \approx 40.$$

Условная гибкость

$$\bar{\lambda}_x = \lambda_x \sqrt{R_y/E} = 40 \sqrt{240/(206 \cdot 10^3)} = 40/29,3 = 1,37,$$

где $R_y = 240$ МПа – расчетное сопротивление фасонного проката (швеллера) из стали марки ВСт3пс6-1 при средней толщине полки 13,5 мм.

Коэффициент продольного изгиба при $0 < \bar{\lambda} < 2,5$

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= 1 - (0,073 - 5,53 R_y/E) \bar{\lambda}_x \sqrt{\bar{\lambda}_x} = \\ &= 1 - [0,073 - 5,53 \cdot 240/(206 \cdot 10^3)] \cdot 1,37 \sqrt{1,37} = 0,893. \end{aligned}$$

Напряжение

$$\sigma = N/(\varphi_1 A_2) = 2260 \cdot 10^7 / (0,893 \cdot 123) = 206 \cdot 10^6 \text{ Па} = 206 \text{ МПа} < R_y.$$

Получилось некоторое недонапряжение, поэтому следовало бы проверить сечение из более легких швеллеров – № 36. Однако учитывая, что этот профилиразмер не освоен металлургическими заводами, окончательно принимаем швеллеры № 40.

Расчет относительно свободной оси.

Определяем ширину сечения b из условия равноустойчивости колонны. Предварительно задаемся гибкостью ветви $\lambda_b = 30$. Тогда требуемая гибкость

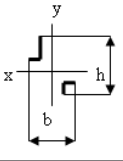
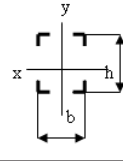
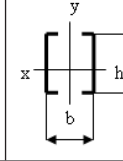
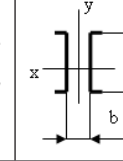
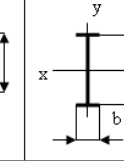
$$\lambda_y = \sqrt{\lambda_{ef}^2 - \lambda_b^2} = \sqrt{\lambda_x^2 - \lambda_b^2} = \sqrt{40^2 - 30^2} \approx 26.$$

Ей соответствует радиус инерции (табл. 5.15)

$$i_y = \ell_{ef} / \lambda_y = 630 / 26 = 24,2 \text{ см.}$$

Таблица 5.15

Значения радиусов инерции сечений стержней

Тип сечения					
r_x	$0,21 h$	$0,43 h$	$0,38 h$	$0,38 h$	$0,43 h$
r_y	$0,20 b$	$0,43 b$	$0,44 b$	$0,60 b$	$0,24 b$

Требуемое расстояние между обухами швеллеров с полками, ориентированными внутрь, находим из соотношения

$$b = i_y / \delta_y = 24,2 / 0,44 = 55 \text{ см.}$$

Это расстояние должно быть не менее удвоенной ширины полки швеллера b_{ch} плюс зазор 100 мм для возможности очистки и окраски ветвей с внутренней стороны. В данном случае

$$550 \text{ мм} > 2 \cdot 115 + 100 = 330 \text{ мм,}$$

т. е. найденная ширина b приемлема.

Производим окончательную проверку подобранного сечения. Швеллер № 40 имеет $J_{y_0} = 642 \text{ см}^4$; $i_{y_0} = i_b = 3,23 \text{ см}$; $z_0 = 2,75 \text{ см}$. Отсюда момент инерции площади всего сечения

$$J_y = 2[J_{y_0} + A_2(b/2 - z_0)^2] = 2[642 + 61,5(55/2 - 2,75)^2] = 76600 \text{ см}^4.$$

Расчетная длина ветви

$$\ell_b = \lambda_b i_b = 30 \cdot 3,23 \approx 94 \text{ см.}$$

Принимаем расстояние между планками в свету $\ell_b = 90 \text{ см}$.

Радиус инерции сечения

$$i_y = \sqrt{J_y/A_2} = \sqrt{76600/123} \approx 25 \text{ см};$$

гибкость

$$\lambda_y = \ell_{ef}/i_y = 630/25 \approx 25;$$

приведенная гибкость

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_b^2} = \sqrt{25^2 + 30^2} \approx 39 < \lambda_x = 40,$$

поэтому проверка напряжений не требуется.

Руководствуясь рекомендациями, задаемся шириной планок $a = 300 \text{ мм} \approx 0,55b$ и толщиной $t = 10 \text{ мм}$. Длина планок

$$b_s = b - 2(b_{ch} - \Delta) = 550 - 2(115 - 40) = 400 \text{ мм}.$$

При этом соблюдаются условия (во избежание выпучивания планок):

$$a/t = 300/10 = 30; \quad b_y/t = 400/10 = 40 < 50.$$

Отношение жесткостей планки и ветви

$$\begin{aligned} n &= (J_s/J_b)(\ell/c) = \frac{ta^3/12}{J_{y0}} \frac{\ell_b + a}{b - 2z_0} = \frac{1 \cdot 30^3(90 + 30)}{12 \cdot 642(55 - 2 \cdot 2,75)} = \\ &= 3,5 \frac{120}{49,5} = 8,5 > 5, \end{aligned}$$

т. е. деформативностью планок можно пренебречь.

Условная поперечная сила (согласно СНиП II-23-81)

$$\begin{aligned} Q_{fic} &= 7,15 \cdot 10^{-6} A_2 E \beta (2330 R_y / E - 1) = \\ &= 7,15 \cdot 10^{-6} \cdot 123 \cdot 10^{-4} \cdot 206 \cdot 10^{-6} \cdot 0,86 [2330 \cdot 240 / (206 \cdot 10^3) - 1] = \\ &= 26,7 \text{ кН}. \end{aligned}$$

где $\beta = (N/A_2)/(\varphi_1 R_y) = 2260 \cdot 10^7/123 / (0,893 \cdot 240 \cdot 10^6) = 0,86$.

Перерезывающая сила в планке

$$F_s = Q_{fic} \ell / (2c) = 26,7 \cdot 120 / (2 \cdot 49,5) = 32,4 \text{ кН}.$$

Изгибающий момент

$$M_s = F_s c / 2 = 32,4 \cdot 0,495 / 2 = 8 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Предусматриваем приварку планок к полкам швеллеров вручную угловыми швами толщиной $k_f = 6 \text{ мм}$ с использованием электродов Э42 и проверяем прочность соединения. Вводя в расчет только вертикальные швы, при $\gamma_{wf} = 1$ получаем

$$\begin{aligned} \tau_f &= \sqrt{[6M_s / (\beta_f k_f a^2)]^2 + [F_s / (\beta_f k_f a)]^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{6 \cdot 8 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3^2}\right)^2 + \left(\frac{32,4 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3}\right)^2} = \\ &= 130 \cdot 10^6 \text{ Па} = 130 \text{ МПа} < R_{wf} = 180 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Наличие горизонтальных швов позволяет считать вертикальные швы качественными по всей длине и принимать $\ell_w = a$.

Прочность самих планок заведомо обеспечена, поскольку их толщина больше толщины сварных швов.

Пример 5.9. Рассчитать и сконструировать базу центрально-сжатой колонны. Материалы фундамента – бетон марки М100, элементов базы – сталь марки СтЗсЕ. Сварка ручная электродами типа Э42.

Решение. В соответствии с принятой расчетной схемой колонны предусматриваем жесткую базу (рис. 20).

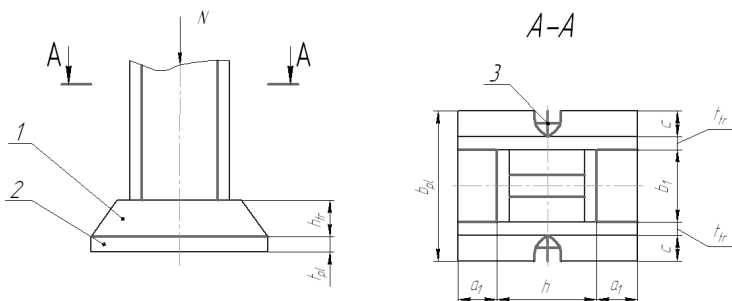


Рис. 20. Схема базы колонны

Определение размеров опорной плиты в плане

Расчетная сила давления на фундамент с учетом массы колонны

$$N = F + \rho A_1 g H \gamma_f = 2260 + 7,85 \cdot 0,013 \cdot 9,81 \cdot 9 \cdot 1,05 = 2270 \text{ кН}.$$

Здесь $\rho = 7,85 \text{ г/см}^3$ – плотность стали; $g = 1,05$ – коэффициент надежности по нагрузке от массы колонны.

Задавая $\xi = 1,2$, устанавливаем расчетное сопротивление бетона

$$R_{cp} = \xi R_c = 1,2 \cdot 4,5 = 5,4 \text{ МПа},$$

где $\xi = \sqrt[3]{A_f/A_{pl}}$; R_c – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию (призменная прочность), равное 4,5; 7 и 9 МПа соответственно для марок М100, М150 и М200; $A_f = L_f B_f$ – площадь верхнего обреза фундамента.

Поскольку на стадии расчета базы отношение A_f/A_{pl} обычно еще не известно, коэффициентом ξ задаются в пределах 1,2...1,5.

Требуемая площадь опорной плиты

$$A_{pl} \geq N/R_{cp} = 2270 \cdot 10^3 / (5,4 \cdot 10^6) = 0,42 \text{ м}^2 = 4200 \text{ см}^2.$$

Конструируем траверсу из листов толщиной $t_r = 10$ мм с выпуском за них плиты на расстояние $c = 60$ мм. Тогда ширина плиты

$$B_{pl} = b_1 + 2(t_r + c) = 36 + 2(1 + 6) = 50 \text{ см},$$

что удовлетворяет ГОСТ на широкополосную универсальную сталь.

Требуемая длина плиты

$$L_{pl} \geq A_{pl}/B_{pl} = 4200/50 = 84 \text{ см}.$$

Округляя, принимаем $L_{pl} = 90$ см. Следовательно, вылет листов траверсы

$$a_1 = (L_{pl} - h)/2 = (90 - 38,8)/2 = 25,6 \text{ см}.$$

Определение толщины плиты

Среднее напряжение в бетоне фундамента

$$\sigma_f = q = N/(L_{pl} B_{pl}) = 2270 \cdot 10^3 / (0,9 \cdot 0,5) = 5,04 \cdot 10^6 \text{ Па} = 5,04 \text{ МПа}.$$

На участке, опертых по четырем сторонам (внутри сечения стержня колонны),

$$b = (b_1 - t_w)/2 = (36 - 0,8)/2 = 17,6 \text{ см};$$

$$a = 36 \text{ см}; \quad a/b = 36/17,6 = 2,04 > 2,$$

и по табл. 5.16 $\alpha = 0,125$, т. е. фактически плита работает как свободно лежащая на двух опорах балка пролетом b .

Таблица 5.16

Коэффициент α для расчета плит, опертых по четырем сторонам

a/b	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	>2
α	0,048	0,055	0,063	0,069	0,075	0,081	0,086	0,091	0,094	0,098	0,100	0,125

Изгибающий момент для плиты, закрепленной по четырем сторонам,

$$M_I = \alpha q b^2 = 0,125 \cdot 5,04 \cdot 10^6 \cdot 17,6^2 \cdot 10^{-4} = 19515 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

На участках, опертых по трем сторонам (между листами траверсы и полкой колонны),

$$a_1/b_1 = 25,6/36 = 0,71,$$

по табл. 5.17 $\alpha_1 = 0,089$.

Таблица 5.17

Коэффициент α_1 для расчета плит, опертых по трем сторонам

a_1/b_1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,4	2	>2
α_1	0,060	0,074	0,088	0,097	0,107	0,112	0,120	0,126	0,132	0,133

Изгибающий момент

$$M_{II} = \alpha_1 q b_1^2 = 0,089 \cdot 5,04 \cdot 36^2 \cdot 10^2 = 58130 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Вследствие большой разницы в значениях изгибающего момента предусматриваем укрепление плиты ребром жесткости толщиной $t_s = 10$ мм. Тогда

$$b_1^1 = (b_1 - t_s)/2 = (36 - 1)/2 = 17,5 \text{ см};$$

$$a_1/b_1^1 = 25,6/17,5 = 1,46; \alpha_1^1 \approx 0,127$$

и

$$M_{II}^1 = 0,127 \cdot 5,04 \cdot 17,5^2 \cdot 10^2 = 19600 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

На консольных участках изгибающий момент не является определяющим, так как даже при отсутствии ребер жесткости он имел бы значение

$$M_{III} = q c^2 / 2 = 5,04 \cdot 6^2 \cdot 10^2 / 2 = 9070 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таким образом, $M_{\max} = M_{II}^1 = 19600 \text{ Н} \cdot \text{м}$ и требуемая толщина плиты составляет

$$t_{pl} \geq \sqrt{6 M_{\max} / R_y} = \sqrt{6 \cdot 19600 / (215 \cdot 10^6)} = 23,4 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 23,4 \text{ мм}.$$

По таблице сортамента стали широкополосной универсальной (ГОСТ 82-70) назначаем $t_{pl} = 25$ мм, что подтверждает правильность принятого значения расчетного сопротивления.

Расчет траверсы

Необходимая высота при четырех сварных швах толщиной $k_f = t_{tr} = 10$ мм, прикрепляющих листы траверсы к полкам, составляет

$$h_{tr} = \Sigma \ell_{wf} / 4 + \delta = N / (4 \cdot 0,7 k_f R_{wf}) + \delta = \\ = 2270 \cdot 10^3 / (2,8 \cdot 0,01 \cdot 180 \cdot 10^6) + 0,01 = 0,46 \text{ м} = 46 \text{ см.}$$

Здесь расчетное сопротивление $R_{wf} = 180$ МПа. Округляя, принимаем $h_{tr} = 50$ см и производим проверку прочности траверсы на изгиб и срез.

Нагрузка на единицу длины одного листа траверсы

$$q_{tr} = q(b_1^1/2 + t_{tr} + c) = 5,04 \cdot 10^6 (17,5/2 + 1 + 6) \cdot 10^{-2} = \\ = 794 \cdot 10^3 \text{ Н/м} = 794 \text{ кН/м.}$$

Изгибающий момент в месте приварки к колонне

$$M_{tr} = q_{tr} a_1^2 / 2 = 794 \cdot 25,6^2 \cdot 10^{-4} / 2 = 26 \text{ кН}\cdot\text{м,}$$

поперечная сила

$$Q_{tr} = q_{tr} a_1 = 794 \cdot 25,6 \cdot 10^{-2} = 203 \text{ кН.}$$

Момент сопротивления сечения листа

$$W_{tr} = t_{tr} h_{tr}^2 / 6 = 1 \cdot 50^2 / 6 = 417 \text{ см}^3.$$

Нормальное напряжение

$$\sigma_{tr} = M_{tr} / W_{tr} = 26 \cdot 10^3 / (417 \cdot 10^{-6}) = 62,4 \cdot 10^6 \text{ Па} = \\ = 62,4 \text{ МПа} \ll R_y = 225 \text{ МПа;}$$

касательное напряжение

$$t_{tr} = Q_{tr} / (t_{tr} h_{tr}) = 203 \cdot 10^3 / (1 \cdot 50 \cdot 10^{-4}) = 40,6 \cdot 10^6 \text{ Па} = \\ = 40,6 \text{ МПа} \ll R_s = 130 \text{ МПа,}$$

т. е. прочность траверсы обеспечена с большим запасом.

Расчет ребер жесткости, примыкающих к полкам колонны, производим аналогично расчету листов траверсы:

$$q_s = q b_1^1 = 5,04 \cdot 17,5 \cdot 10^4 = 882 \cdot 10^3 \text{ Н/м} = 882 \text{ кН/м;}$$

$$M_s = M_{tr} q_s / q_{tr} = 26 \cdot 882 / 794 = 28,9 \text{ кН}\cdot\text{м;}$$

$$Q_s = Q_{tr} q_s / q_{tr} = 203 \cdot 882 / 794 = 225 \text{ кН.}$$

Требуемый момент сопротивления сечения ребра $W_s \geq M_s / R_y$.

С другой стороны, $W_s = t_s h_s^2/6$. Отсюда требуемая высота ребра

$$h_s \geq \sqrt{6M_s/(t_s R_y)} = \sqrt{6 \cdot 28,9 \cdot 10^3 / (0,01 \cdot 225 \cdot 10^6)} = 0,278 \text{ м} = 27,8 \text{ см.}$$

Округляя, принимаем $h_s = 30 \text{ см}$.

Касательное напряжение

$$\tau_s = Q_s/(t_s h_s) = 225 \cdot 10^3 / (1 \cdot 30 \cdot 10^{-4}) = 75 \cdot 10^6 \text{ Па} = 75 \text{ МПа} < R_s,$$

т. е. прочность ребра обеспечена.

Сварные швы, прикрепляющие ребро к колонне, проверяем по результирующему напряжению. При двух угловых швах толщиной $k_f = t_s = 10 \text{ мм}$, получаем

$$\begin{aligned} \tau_f &= \sqrt{\{6M_s/[0,7k_f \cdot 2(h_s - \delta)]\}^2 + \{Q_s/[0,7k_f \cdot 2(h_s - \delta)]\}^2} = \\ &= \sqrt{\{6 \cdot 28,9 \cdot 10^3 / [1,4 \cdot 1(30 - 1)2 \cdot 10^{-6}]\}^2 + \{225 \cdot 10^3 / [1,4 \cdot 1(30 - 1)10^{-4}]\}^2} = \\ &= 157 \cdot 10^6 \text{ Па} = 157 \text{ МПа} < R_{wf} = 180 \text{ МПа}, \end{aligned}$$

т. е. прочность швов также обеспечена.

Необходимая толщина швов, прикрепляющих листы траверсы,

$$\begin{aligned} k_f &\geq N_r / (0,7 \Sigma \ell_{wf} R_{wf}) \approx q_{tr} L_{pe} / [0,7(L_{pe} + 2a_1)R_{wf}] = \\ &= 794 \cdot 10^3 \cdot 0,9 / [0,7(0,9 + 2 \cdot 0,256)180 \cdot 10^6] = 4,02 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 4,02 \text{ мм}, \end{aligned}$$

толщина ребра жесткости:

$$\begin{aligned} k_f &\geq Q_s / (0,7 \cdot 2a_1 R_{wf}) = 225 \cdot 10^3 / (1,4 \cdot 0,256 \cdot 180 \cdot 10^6) = \\ &= 3,49 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3,49 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Исходя из толщины плиты $t_{pl} = 25 \text{ мм}$, конструктивно принимаем $k_f = 8 \text{ мм}$, что вполне компенсирует несколько завышенную длину швов (расчет произведен по фактической длине вместо расчетной, т. е. без учета возможных непроваров и кратеров).

Такой же толщины назначаем и швы, прикрепляющие к плите пояса и стенку стержня колонны, хотя они воспринимают еще меньшее давление.

Пример 5.10. Рассчитать и сконструировать базу центрально-сжатой колонны при жестком сопряжении ее с фундаментом (см. рис. 20).

Расчетная сила давления на фундамент $N = 2270 \text{ кН}$. Материал фундамента – бетон класса В7.5 с расчетным сопротивлением $R_b = 0,45 \text{ кН/см}^2$ (табл. 5.18). Колонна сварная двутаврового се-

чения, стенка выполнена из листа 8×360 мм, полки — из листов 14×360 мм. Материал стальных конструкций — сталь С235 ($R_y = 23 \text{ кН/см}^2$ при толщине листов t до 20 мм и $R_y = 22 \text{ кН/см}^2$ при $20 < t < 40 \text{ мм}$).

Таблица 5.18

Расчетные сопротивления бетона сжатию

Класс прочности	B7.5	B10	B12	B15	B20
Расчетные сопротивления, кН/см ²	0,45	0,60	0,75	0,85	1,15

Сварка ручная электродами Э42 ($\gamma_c = 1$; $\gamma_{wf} = \gamma_{wz} = 1$; $R_{wf} = 18 \text{ кН/см}^2$; $R_{wz} = 16,6 \text{ кН/см}^2$; $\beta_f = 0,7$; $\beta_z = 1$).

Определение размеров опорной плиты в плане

Задавшись $\phi_b = 1,2$, устанавливаем расчетное сопротивление бетона смятию

$$R_{b,lok} = \phi_b R_b = 1,2 \cdot 0,45 = 0,54 \text{ кН/см}^2.$$

Требуемая площадь опорной плиты

$$A_p = N/R_{b,lok} = 2270/0,54 = 4204 \text{ см}^2.$$

Назначаем толщину траверсы 10 мм, вылет консольной части плиты $c = 60 \text{ мм}$. Тогда ширина плиты

$$B = a_1 + 2(t_t + c) = 36 + 2(1 + 6) = 50 \text{ см}.$$

Требуемая длина плиты

$$L = A_p/B = 4204/50 = 84 \text{ см}.$$

Принимаем плиту с размерами в плане 500×900 мм. Размеры верхнего обреза фундамента устанавливаем на 20 см больше размеров опорной плиты.

Проверим справедливость назначенного значения $\phi_b = 1,2$ при определении расчетного сопротивления бетона фундамента:

$$\phi_b = \sqrt[3]{A_f/A_p} = \sqrt[3]{(50 + 20)(90 + 20)/(50 \cdot 90)} = 1,2.$$

Перерасчет плиты не требуется.

Определение толщины плиты

Среднее напряжение в бетоне фундамента

$$\sigma_f = N/(BL) = 2270/(50 \cdot 90) = 0,504 \text{ кН/см}^2.$$

На участках, опертых по четырем сторонам,

$$a = (a_1 - t_w)/2 = (36 - 0,8)/2 = 17,6 \text{ см}; \quad b = 36 \text{ см};$$

$$b/a = 36/17,6 = 2,04 > 2,$$

следовательно (табл. 5.19), $\alpha_1 = 0,125$.

Таблица 5.19

Коэффициенты для расчета на изгиб прямоугольных пластинок, опертых на четыре канта (рис. 21)

b/a	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	≥ 2
α_1	0,048	0,055	0,063	0,069	0,075	0,086	0,091	0,094	0,098	0,125

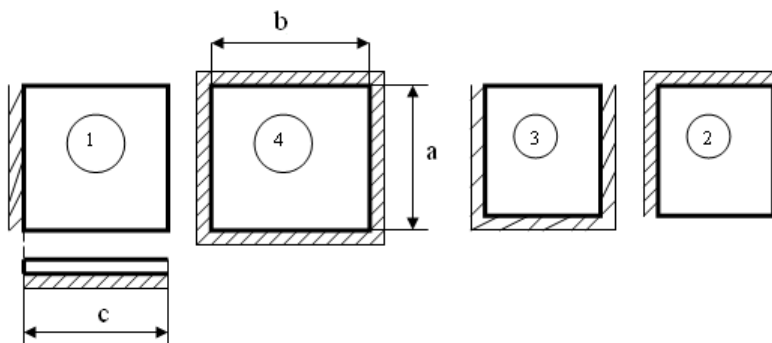


Рис. 21. Виды опираний опорной плиты (пластинки)

Изгибающий момент на этих участках

$$M_1 = \alpha_1 \sigma_f a^2 = 0,125 \cdot 0,504 \cdot 17,6^2 = 19,52 \text{ кН}\cdot\text{см}.$$

Требуемая толщина плиты

$$t_p = \sqrt{6M / (R_y \gamma_c)} = \sqrt{6 \cdot 19,52 / 22} = 2,31 \text{ см}.$$

Высоту траверсы будем определять из условия размещения сварных швов, поэтому предварительно проведем сравнительную оценку прочности по металлу шва и по границе сплавления:

$$\beta_f R_{wf} \gamma_{wf} = 0,7 \cdot 18 \cdot 1 = 12,6 \text{ кН/см}^2;$$

$$\beta_z R_{wz} \gamma_{wz} = 1 \cdot 16,6 \cdot 1 = 16,6 \text{ кН/см}^2.$$

Необходима проверка по металлу шва.

Необходимая высота траверсы при четырех сварных швах с катетом $k_f = t_i = 10$ мм, прикрепляющих листы траверсы к полкам колонны, составляет

$$h_t = N/[4k_f(\beta_f R_{wf} \gamma_{wf})_{\min} \gamma_c] + 1 = 2270/(4 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 18 \cdot 1) + 1 = 46 \text{ см.}$$

Округляя, принимаем $h_t = 50$ см и производим проверку прочности траверсы на изгиб и на срез. Нагрузка на 1 пог. см одного листа траверсы

$$q_t = \sigma_f(a_2/2 + t_t + c) = 0,504(17,5/2 + 1 + 6) = 7,94 \text{ кН/см.}$$

Изгибающий момент в месте приварки траверсы к колонне

$$M_t = q_t b_2^2/2 = 7,94 \cdot 25,6^2/2 = 2602 \text{ кН}\cdot\text{см.}$$

Поперечная сила

$$Q_t = q_t b_2 = 7,94 \cdot 25,6 = 203 \text{ кН.}$$

Момент сопротивления листа траверсы

$$W_t = t_t h^2/6 = 50^2/6 = 417 \text{ см}^3.$$

Условие прочности по нормальным напряжениям

$$M_t/(W_t R_y \gamma_c) = 2602/(417 \cdot 23) = 0,27 \ll 1.$$

Условие прочности по касательным напряжениям

$$Q_t/(t_t h_t R_s \gamma_c) = 203/(1 \cdot 50 \cdot 13) = 0,3 \ll 1.$$

Большой запас прочности не должен смущать, так как в данном случае размеры сечения траверсы определило условие ее прикрепления к колонне. В противном случае размеры сечения траверсы следует увеличить.

Расчет ребер усиления плиты

Погонная нагрузка

$$q_s = \sigma_f a_2 = 0,504 \cdot 17,5 = 8,82 \text{ кН/см.}$$

Изгибающий момент

$$M_s = q_s b_2^2/2 = 8,82 \cdot 25,6^2/2 = 2890 \text{ кН}\cdot\text{см.}$$

Поперечная сила

$$Q_s = q_s b_2 = 8,82 \cdot 25,6 = 225,8 \text{ кН.}$$

Требуемая высота ребра

$$h_s = \sqrt{6M_s/(t_s R_y)} = \sqrt{6 \cdot 2890/(1 \cdot 23)} = 27,5 \text{ см.}$$

Округляя, назначаем $h_s = 30$ см.

Условие прочности при срезе

$$Q_s/(t_s h_s R_s \gamma_c) = 225,8/(1 \cdot 30 \cdot 13) = 0,58 < 1.$$

Сварные швы, прикрепляющие ребра к колонне, проверяем на равнодействующее касательных напряжений от изгиба и среза. При такой проверке мы не можем опираться на приведенный выше сравнительный анализ прочности швов при срезе по металлу шва и по границе сплавления, поэтому делаем обе проверки:

$$\begin{aligned}\tau_f &= \sqrt{\left(\frac{6M_s}{\beta_f k_f 2(h_s - \langle 1cm \rangle)}\right)^2 + \left(\frac{Q_s}{\beta_f k_f 2(h_s - \langle 1cm \rangle)}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{6 \cdot 2890}{0,7 \cdot 1 \cdot 2(30-1)}\right)^2 + \left(\frac{225,8}{0,7 \cdot 1 \cdot 2(30-1)}\right)^2} = 15,7 < R_{wf} \gamma_{wf} = 18.\end{aligned}$$

Проверяем прочность швов при срезе по границе сплавления:

$$\begin{aligned}\tau_f &= \sqrt{\left(\frac{6M_s}{\beta_z k_f 2(h_s - \langle 1cm \rangle)}\right)^2 + \left(\frac{Q_s}{\beta_z k_f 2(h_s - \langle 1cm \rangle)}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{6 \cdot 2890}{1 \cdot 1 \cdot 2(30-1)}\right)^2 + \left(\frac{225,8}{1 \cdot 1 \cdot 2(30-1)}\right)^2} = 11,02 < R_{wz} \gamma_{wz} = 16,6.\end{aligned}$$

Требуемый катет швов крепления траверсы к плите

$$k_f > q_t L / [0,7(L + 2b_1)R_{wf}] = 7,94 \cdot 90 / [0,7 \cdot (90 + 2 \cdot 25,6)18] = 0,402 \text{ см.}$$

Требуемый катет швов крепления ребер

$$k_f > Q_s / (0,7 \cdot 2b_1 R_{wf}) = 225,8 / (0,7 \cdot 2 \cdot 25,6 \cdot 18) = 0,35 \text{ см.}$$

Конструктивно принимаем катет швов крепления к опорной плите траверс и ребер $k_f = 8$ мм. Такие же швы принимаем для крепления к плите стержня колонны.

Расчет анкерных болтов базы центрально-сжатых колонн при шарнирном и жестком сопряжении с фундаментом

В результате расчета подбирается диаметр анкерных болтов и минимальные размеры их привязки к элементам базы.

Диаметр анкерного болта d определяют в зависимости от усилия в нем. При отсутствии растягивающего усилия в колонне диаметр анкерного болта принимают конструктивно.

Для обеспечения размещения анкерных болтов с шайбами назначают их минимальную допустимую привязку к элементам базы (рис. 22).

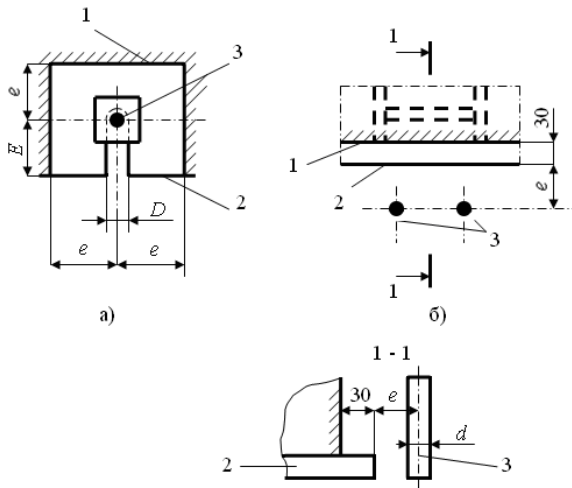


Рис. 22. Привязка анкерных болтов к элементам базы: а – шарнирная база ($G = 1$); б – жесткая база ($G = 2$); 1 – элемент базы; 2 – край плиты; 3 – анкерный болт; e – минимальная привязка анкерного болта (табл. 5.20); d – диаметр анкерного болта (табл. 5.20)

Особенности проектирования сварных колонн

Стенки сплошных колонн при $\frac{h_{CT}}{\delta_{CT}} \geq 100 \sqrt{\frac{2100}{R}}$ следует укреплять парными поперечными ребрами жесткости, расположенными на расстоянии $(2,5 \dots 3,0) h_{CT}$ одно от другого.

На каждом отправочном элементе должно быть не менее двух ребер.

Составные колонны следует укреплять диафрагмами, соединяющими ветви этих колонн. Диафрагмы следует располагать не более чем через 4 м по высоте колонны, при этом в отправочном элементе должно быть не менее двух диафрагм.

Заводские стыки колонн следует выполнять сварными, прямыми, встык, с полным проваром.

При конструировании целесообразно:

- а) компоновку сплошностенчатых колонн производить из широкополосной универсальной стали стандартных размеров, не стремясь к получению общих размеров, кратных 10 мм;
- б) при выполнении поясных швов в Н-образных сечениях автоматической сваркой внутренний размер (по стенке) не должен быть менее 400 мм.

Таблица 5.20

Нормальные размеры анкерных фундаментных болтов из стали марки ВСт2кп2 (бетон фундамента марки 100...150)

Характеристика болта			Расчетное усилие, кН; $R_{ba} = 145$ МПа	Минимальное приближение к элементам базы, мм		Отверстие или проушина для болта, мм
Диаметр, мм		Площадь нетто, см ²		$G = 1$	$G = 2$	
наружный	внутренний			e		
d	d_0	A_{ba}	N_a			D
20	16,93	2,25	32,63	30	40	30
22	18,93	8,81	40,75	30	45	35
24	20,32	3,24	46,98	30	45	35
27	23,32	4,27	61,92	35	50	40
30	25,71	5,19	75,26	40	60	50
36	31,09	7,58	109,91	45	70	60
42	36,48	10,45	151,53	50	80	70
48	41,86	13,75	199,38	60	90	80
56	49,25	19,02	275,79	70	100	90
64	56,64	25,20	365,40	80	110	100
72	64,64	32,8	475,60	90	120	110
80	72,64	41,4	600,30	100	130	120

Библиографический список

1. СНиП II–23–81*. Стальные конструкции. Актуализированная редакция. М., 2011. – Введ. 2011–05–01. – М. : ОАО «ЦПП», 2011. – 178 с.
2. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II–23–81*). – Введ. 1985–08–15. – М. : Центральный институт типового проектирования, 1989. – 145 с.
3. ГОСТ 2.109–73. Основные требования к чертежам. – Введ. 1974–07–01. – М. : Стандартинформ, 2007. – 30 с.
4. ГОСТ 2.312–72. Условные изображения и обозначение швов сварных соединений. – Введ. 1973–01–01. – М. : Стандартинформ, 2007. – 17 с.
5. ГОСТ 2.313–82. Условные изображения и обозначения неразъемных соединений. – Введ. 1984–01–01. – М. : Издательство стандартов, 2001. – 6 с.
6. ГОСТ 2.410–68*. Правила выполнения чертежей металлических конструкций. – Введ. 1971–01–01. – М. : Издательство стандартов, 1998. – 10 с.
7. ГОСТ 5264–80*. Соединения, выполняемые ручной дуговой сваркой. – Введ. 1981–07–01. – М. : Стандартинформ, 2005. – 35 с.
8. ГОСТ 11534–75. Соединения под острыми и тупыми углами, выполняемые ручной дуговой сваркой. – Введ. 1977–01–01. – М. : Издательство стандартов, 2005. – 33 с.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением
и родственные процессы»

Расчетно-пояснительная записка
к курсовому проекту по дисциплине
«Проектирование сварных конструкций»

Студент _____
(фамилия, имя, отчество)

Группа _____
(номер группы)

Руководитель
проекта _____
(фамилия, имя, отчество)

Тольятти – 2017

Пример содержания расчетно-пояснительной записки

Введение

I. Расчет и проектирование сварной балки

Исходные данные и содержание задания на проектирование:

назначение конструкции;

условия эксплуатации;

материал конструкции.

1. Общая часть

1.1. Описание конструкции.

1.2. Технические условия на материал конструкции.

1.3. Основные принципы конструктивно-технологического проектирования сварных балок.

2. Расчетная часть

2.1. Определение расчетной схемы нагружения.

2.2. Построение эпюр изгибающих моментов и поперечных сил.

Вычисление максимальных значений моментов и поперечных сил.

2.3. Определение высоты балки.

2.4. Проектирование поперечного сечения балки. Проверка принятого поперечного сечения.

2.5. Оценка общей устойчивости балки.

2.6. Определение и обеспечение местной устойчивости балки.

2.7. Расчет и проектирование сварных соединений.

2.8. Проектирование стыков балки.

2.9. Проектирование и расчет опорных частей балки.

2.10. Определение массы балки.

II. Расчет и проектирование сварной колонны

Исходные данные и содержание задания:

назначение конструкции;

условия эксплуатации конструкции;

материал конструкции.

1. Общая часть

1.1. Описание конструкции.

1.2. Технические условия на материал конструкции.

1.3. Основные принципы конструктивно-технологического проектирования сварных колонн.

2. Расчетная часть

2.1. Определение расчетной схемы колонны.

2.2. Определение требуемой площади поперечного сечения стержня колонны.

2.3. Назначение основных размеров поперечного сечения стержня и других элементов колонны.

2.4. Проверка сечения колонны.

2.5. Проверка устойчивости стенки и поясов колонны.

2.6. Проектирование базы колонны:

2.6.1. Выбор расчетной схемы.

2.6.2. Определение размеров опорной плиты.

2.6.3. Расчет траверсы и ребер жесткости.

2.6.4. Расчет сварных соединений.

2.7. Расчет сварных соединений колонны.

2.8. Определение массы колонны.

III. Расчет и проектирование сварного сосуда

Исходные данные и содержание задания:

назначение конструкции;

условия эксплуатации конструкции;

материал конструкции.

1. Общая часть

1.1. Описание конструкции.

1.2. Технические условия на материал конструкции.

1.3. Основные принципы конструктивно-технологического проектирования сварных листовых конструкций.

2. Расчетная часть

2.1. Расчет толщины стенки сосуда.

2.2. Определение толщины днищ сосуда.

2.3. Определение изгибающего момента в месте сопряжения элементов конструкции.

2.4. Проектирование опорных частей.

2.5. Расчет сварных швов.

2.6. Проверка элементов конструкции на устойчивость.

2.7. Определение массы сосуда.

Заключение

Список литературы

**Контроль правильности построение эпюр поперечных сил Q
и изгибающих моментов M**

1. Если на некотором участке:
 - а) $Q > 0$, то момент M возрастает;
 - б) $Q < 0$, то момент M убывает;
 - в) Q переходит через нуль, меняя знак с «+» на «-», то $M = M_{\max}$; при изменении знака с «-» на «+» $M = M_{\min}$;
 - г) $Q = 0$, то $M = \text{const}$.
2. Если нагрузка $q = 0$, то $Q = \text{const}$. Следовательно, на участках, свободных от сплошной нагрузки, эпюра Q ограничена прямыми, параллельными оси x ; эпюра же моментов изобразится наклонными прямыми, если только $Q \neq 0$. Если $q < 0$, то поперечная сила убывает.
3. На участках балки, загруженных сплошной равномерно распределенной нагрузкой, эпюра M ограничена параболической кривой, а эпюра Q – наклонной прямой. При неравномерно распределенной нагрузке обе эпюры Q и M будут ограничены кривыми, характер которых зависит от типа нагрузки.
4. В сечениях под сосредоточенными силами в эпюре Q имеется скачок (на величину силы), а в эпюре M – резкое изменение угла наклона (излом) смежных участков эпюры.
5. Если сплошная нагрузка направлена вниз, то эпюра M очерчена кривой, имеющей выпуклость кверху. Наоборот, если нагрузка направлена вверх, то эпюра M на соответствующем участке имеет выпуклость книзу.
6. На концевой шарнирной опоре поперечная сила равна реакции этой опоры, а изгибающий момент равен нулю, если в опорном сечении не приложена пара сил.
7. На свободном конце балки (консоль) изгибающий момент равен нулю, если там нет сосредоточенной пары сил. При отсутствии в концевом сечении консоли сосредоточенной силы поперечная сила Q также равна нулю.
8. В защемленном конце (заделка) Q и M соответственно равны опорной реакции и опорному моменту.
9. В сечениях, где приложена пара сил, эпюра M имеет скачок на величину момента этой пары. На эпюре Q это не отражается.

**Стандартные размеры универсальной прокатно-листовой стали
(ГОСТ 11903-77)**

<i>Толстолистовая сталь</i>	
Длина, мм	2000; 2500; 2800; 3000; 3500; 4000; 4200; 4500; 5000; 5500; 6000; 6500; 7000; 7500; 8000
Ширина, мм	600; 710; 1000; 1250; 1400; 1600; 1700; 1800; 1900; 2000; 2100; 2200; 2300; 2400; 2500; 2600; 2700; 2800; 2900; 3000
Толщина, мм	3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 36; 40; 50; 60; 80; 100
<i>Широкополосная сталь</i>	
Длина, мм	от 5000 до 18000
Ширина, мм	200; 220; 240; 280; 300; 360; 380; 400; 420; 450; 480; 500; 530; 560; 600; 630; 650; 670; 700; 750; 800; 850; 900; 950; 1000; 1050
Толщина, мм	6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 36; 40

Примечание. Универсальную широкополосную сталь по ГОСТ 82-57 фактически поставляют начиная с ширины 300 мм, а более узкие полосы вырезают из листовой стали. Поэтому применять листовые детали шириной $200 < b < 300$ мм не рекомендуется.

**Конструктивное оформление соединений, выполненных
ручной сваркой (ГОСТ 5264–80)**

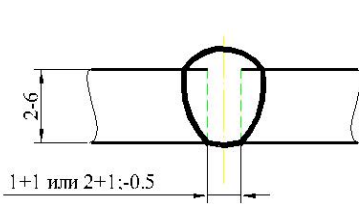


Рис. 5.1. Шов односторонний без скоса кромок (условное обозначение С2)

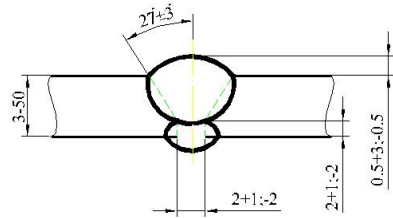


Рис. 5.3. Шов двухсторонний со скосом двух кромок (условное обозначение С18)

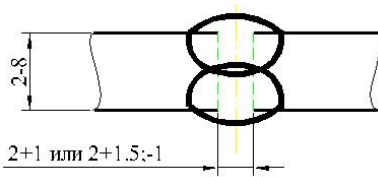


Рис. 5.2. Шов двухсторонний без скоса кромок (условное обозначение С4)

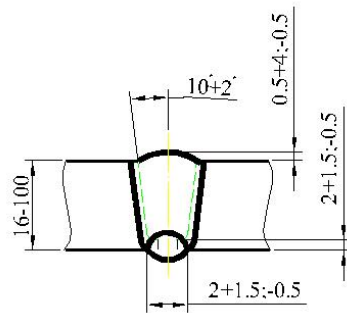


Рис. 5.4. Шов двухсторонний с криволинейным скосом двух кромок (условное обозначение С19)

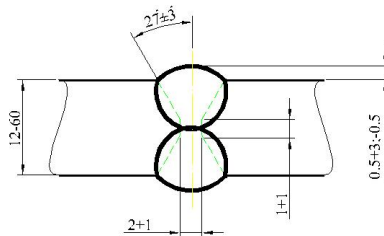


Рис. 5.5. Шов двухсторонний с симметричными скосами двух кромок (условное обозначение С21)

Конструктивное оформление соединений, выполненных автоматической и механизированной сваркой (ГОСТ 8713–79)

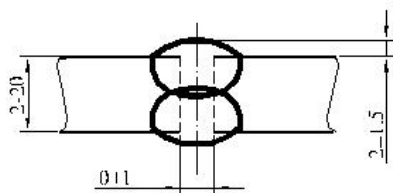


Рис. 5.6. Шов двухсторонний без скоса кромок (условное обозначение С2)

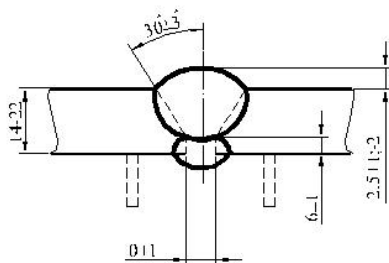


Рис. 5.9. Шов двухсторонний со скосом двух кромок на флюсовой подушке (условное обозначение С14)

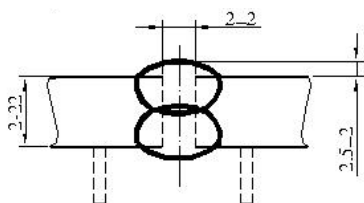


Рис. 5.7. Шов двухсторонний без скоса кромок на флюсовой подушке (условное обозначение С2)

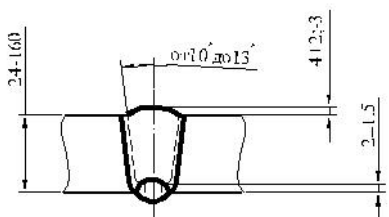


Рис. 5.10. Шов двухсторонний с криволинейным скосом двух кромок (условное обозначение С21)

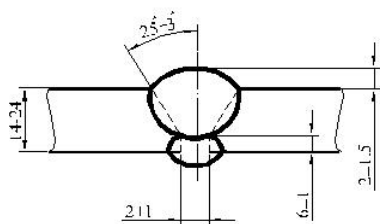


Рис. 5.8. Шов двухсторонний со скосом двух кромок (условное обозначение С13)

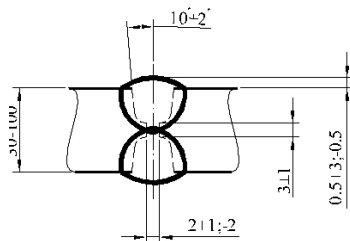


Рис. 5.11. Шов двухсторонний с двумя симметричными криволинейными скосами двух кромок (условное обозначение С8)

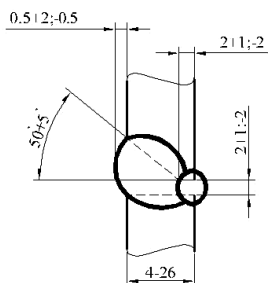


Рис. 5.12. Шов двухсторонний со скосом одной кромки (условное обозначение С22)

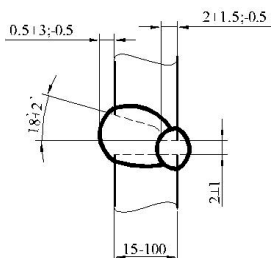


Рис. 5.13. Шов двухсторонний с криволинейным скосом одной кромки (условное обозначение С9)

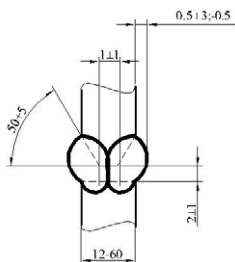


Рис. 5.14. Шов двухсторонний с двумя симметричными скосами одной кромки (условное обозначение С11)

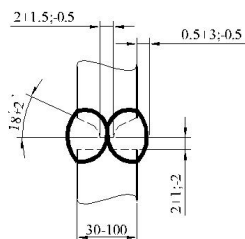


Рис. 5.15. Шов двухсторонний с двумя симметричными криволинейными скосами одной кромки (условное обозначение С12)

Сварные соединения, выполняемые электрошлаковой сваркой (ГОСТ 15164–78)

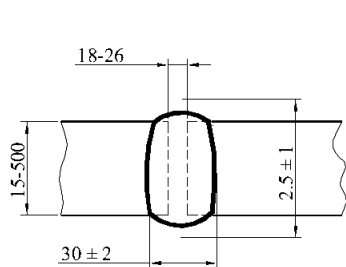


Рис. 5.16. Сварной шов без скоса кромок (условное обозначение С1)

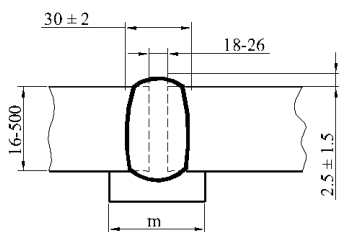


Рис. 5.17. Сварной шов без скоса кромок на привариваемой прокладке (условное обозначение С3)

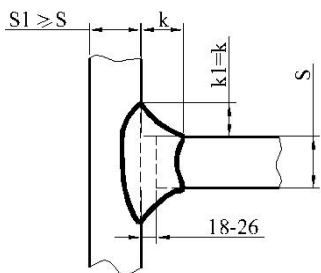


Рис. 5.18. Тавровое соединение без скоса кромок с нормальной галтелью (условное обозначение Т1)

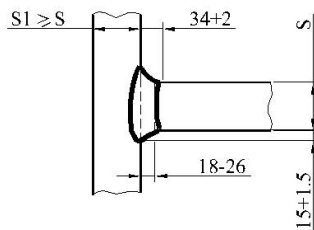


Рис. 5.19. Тавровое соединение без скоса кромок с увеличенной галтелью (условное обозначение Т2)

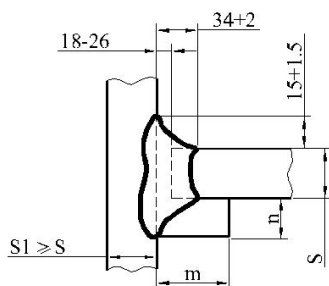


Рис. 5.20. Тавровое соединение без скоса кромок на привариваемой подкладке (условное обозначение Т3)

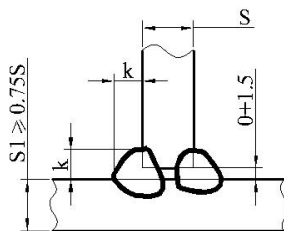


Рис. 5.21. Двухсторонний шов таврового соединения без скоса кромок (условное обозначение Т1)

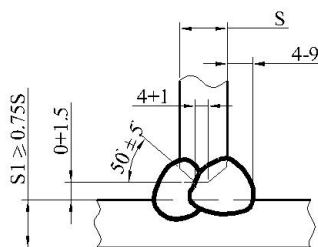


Рис. 5.22. Двухсторонний шов таврового соединения двумя скосами одной кромки (условное обозначение Т10)

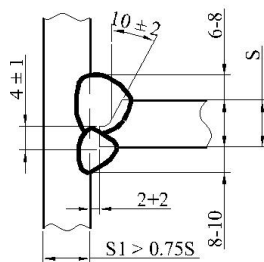


Рис. 5.23. Двухсторонний шов таврового соединения с одним скосом одной кромки и предварительным наложением подварочного шва (условное обозначение Т12)

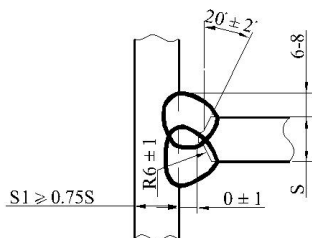


Рис. 5.24. Двухсторонний шов таврового соединения с двумя криволинейными скосами одной кромки (условное обозначение Т13)

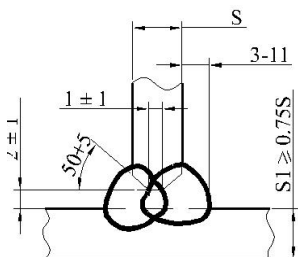


Рис. 5.25. Двухсторонний шов с двумя симметричными скосами одной кромки (условное обозначение Т9)

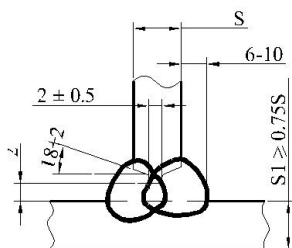


Рис. 5.26. Двухсторонний шов с двумя симметричными криволинейными скосами одной кромки (условное обозначение Т11)

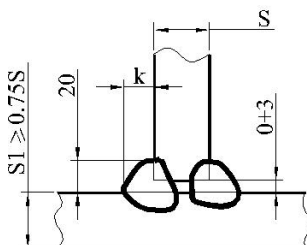


Рис. 5.27. Двухсторонний шов без скоса кромок (условное обозначение Т3)

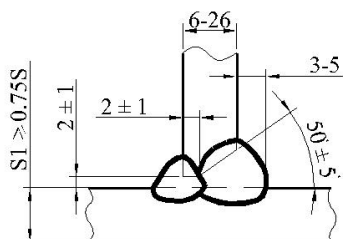


Рис. 5.28. Двухсторонний шов со скосом одной кромки (условное обозначение Т7)

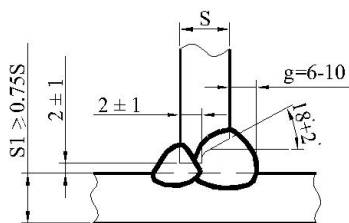


Рис. 5.29. Двухсторонний шов с криволинейным скосом одной кромки (условное обозначение Т8)

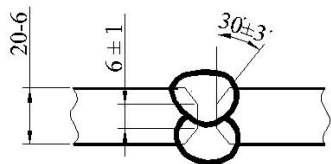


Рис. 5.30. Двухсторонний шов с двумя симметричными криволинейными скосами двух кромок (условное обозначение С30)

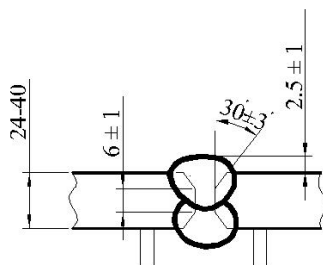


Рис. 5.31. Двухсторонний шов с двумя симметричными криволинейными скосами двух кромок на флюсовой подушке (условное обозначение С33)

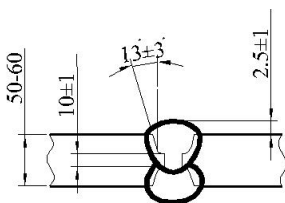


Рис. 5.32. Двухсторонний шов с двумя симметричными криволинейными скосами двух кромок (условное обозначение С31)

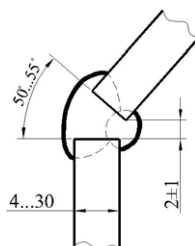


Рис. 5.33. Двухсторонний шов, соединение под углом с одним скосом одной кромки (условное обозначение У12)

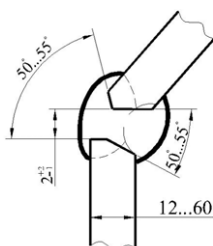


Рис. 5.34. Двухсторонний шов, соединение под углом с двумя скосами одной кромки и скосом другой кромки (условное обозначение У13)

Конструктивное оформление сварных балок

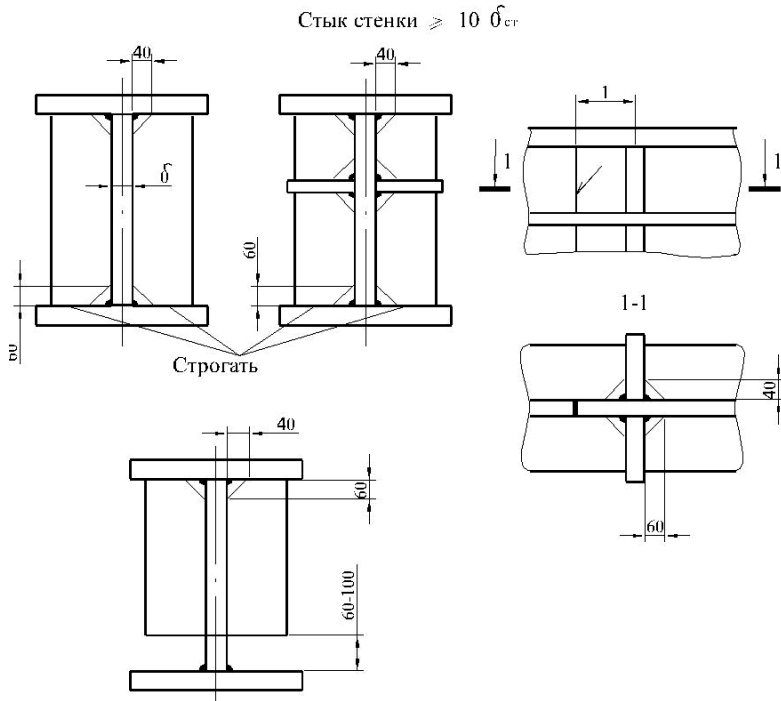


Рис. 6.1. Устройство ребер жесткости в подкрановых балках

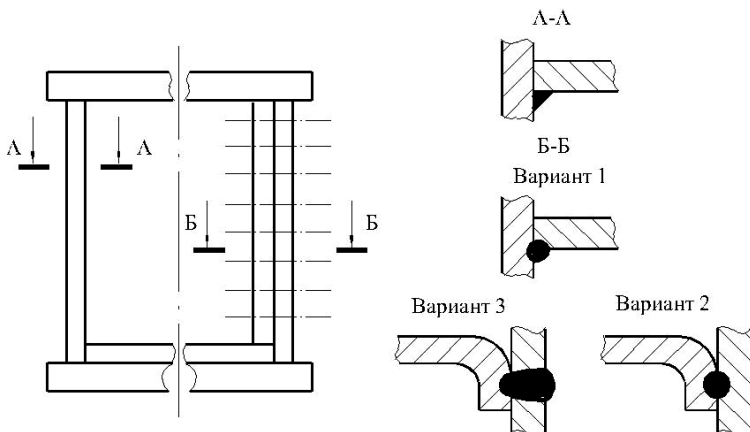


Рис. 6.2. Типы сварных соединений диафрагм со стенками балок

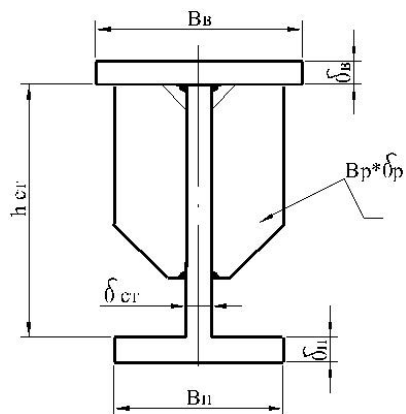


Рис. 6.3. Компоновка сварного двутавра

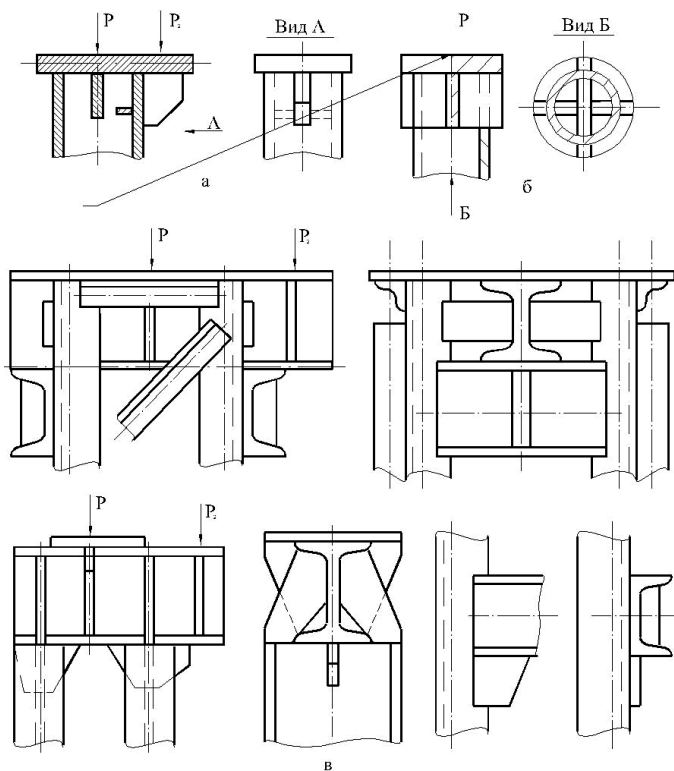


Рис. 6.4. Конструктивные особенности оголовков колонн

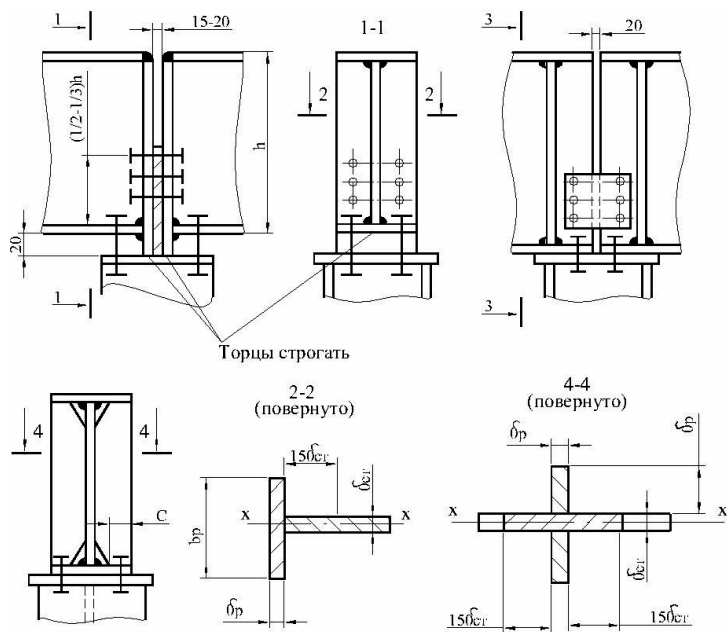


Рис. 6.5. Узлы опирания составных блоков

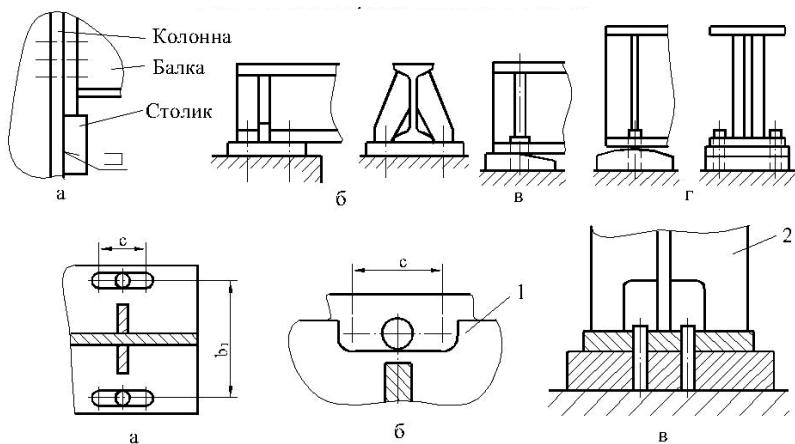


Рис. 6.6. Схема крепления опорных частей балок

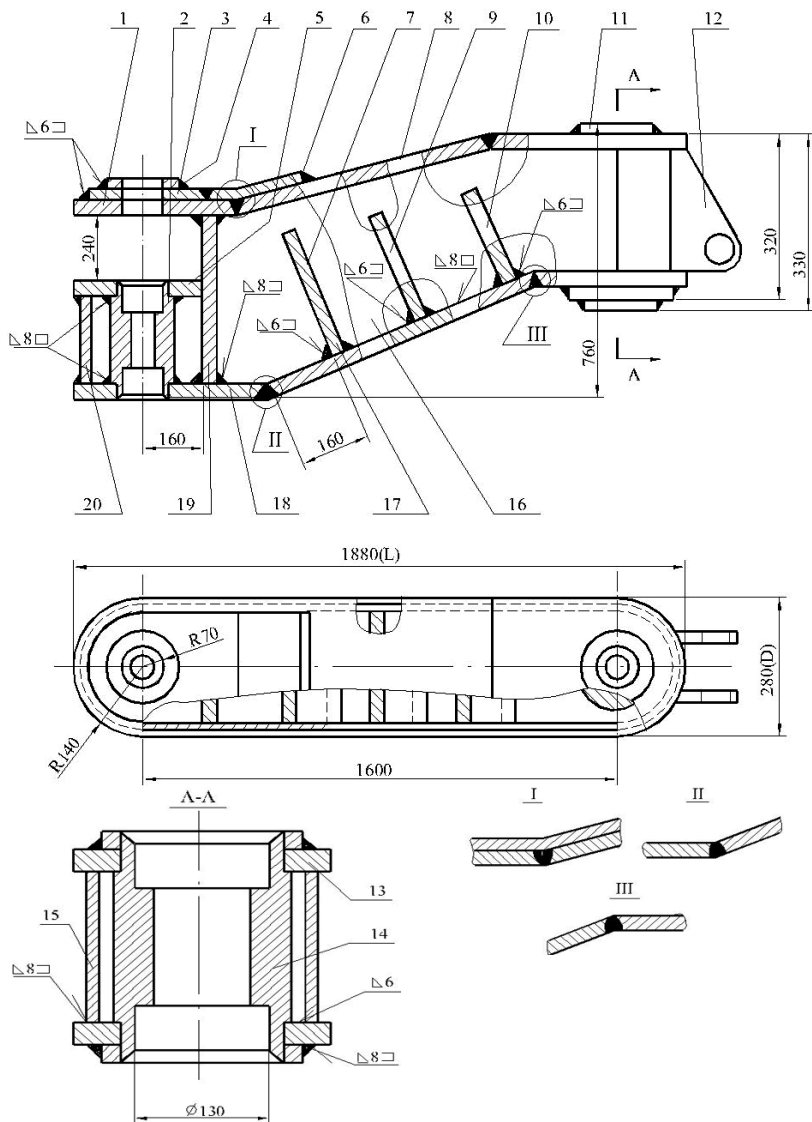


Рис. 6.7. Поворотная балка крана БК-370: 1 – лист; 2 – стакан; 3 – лист; 4 – накладка; 5 – лист; 6 – лист; 7 – диафрагма; 8 – лист; 9 – диафрагма; 10 – диафрагма; 11 – накладка; 12 – ухо; 13 – лист; 14 – стакан; 15 – полуобечайка; 16 – лист; 17 – лист; 18 – лист; 19 – лист; 20 – полуобечайка

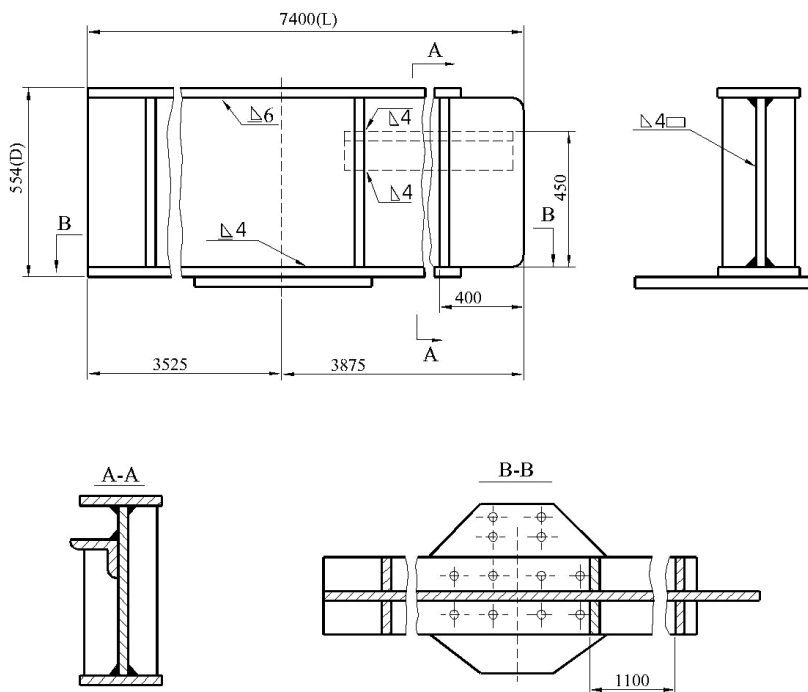


Рис. 6.8. Балка кранового пути

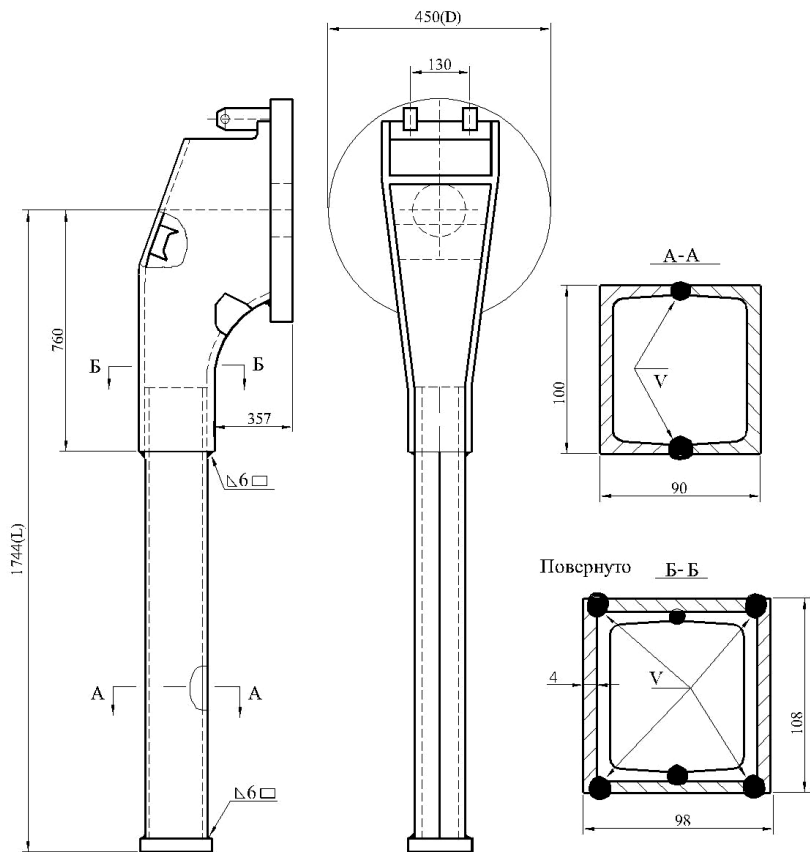


Рис. 6.9. Стрелка крана

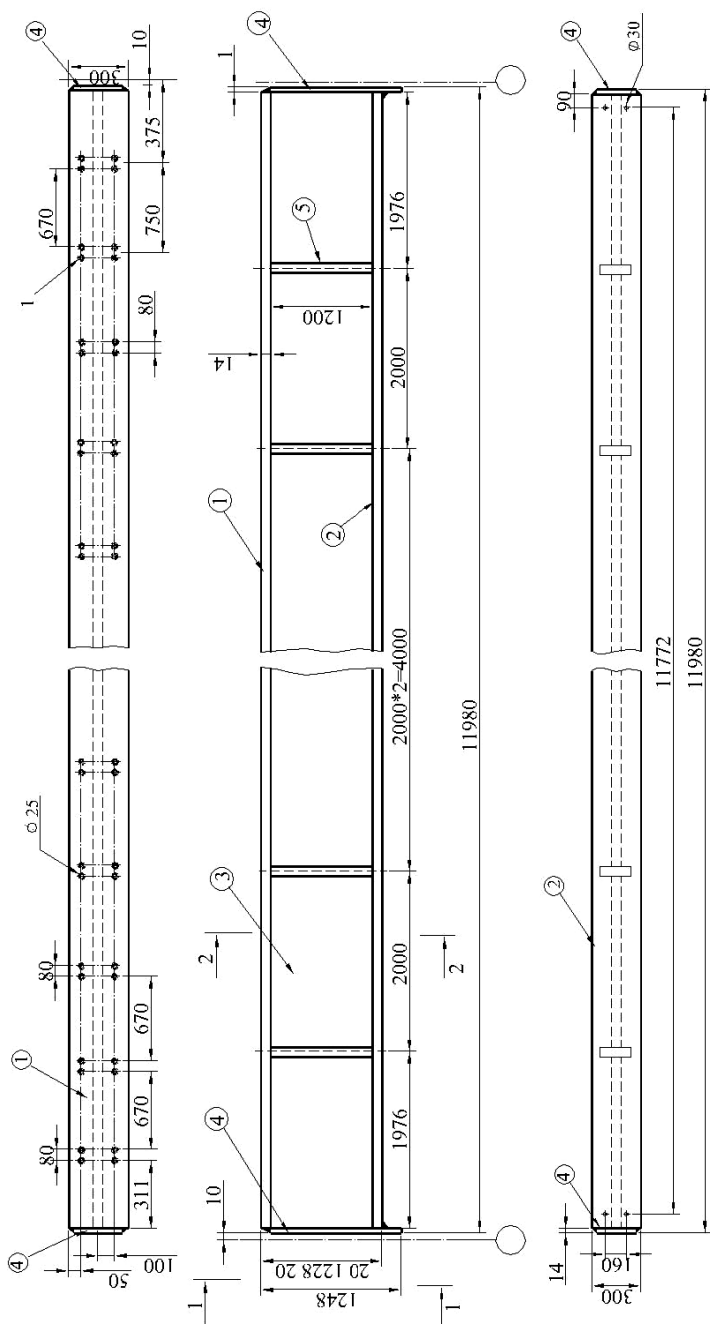


Рис. 6.10. Общий вид главной балки

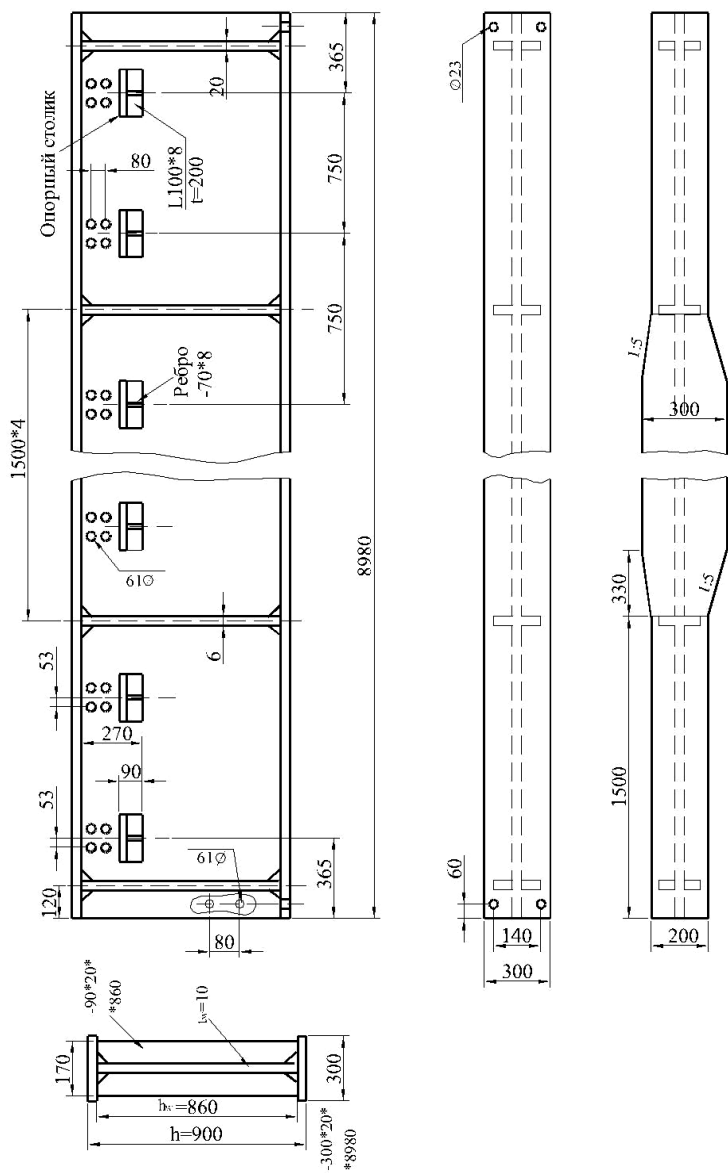


Рис. 6.11. Общий вид и сечение главной балки: а — симметричное сечение; б — с уменьшением ширины поясов по эпюре моментов

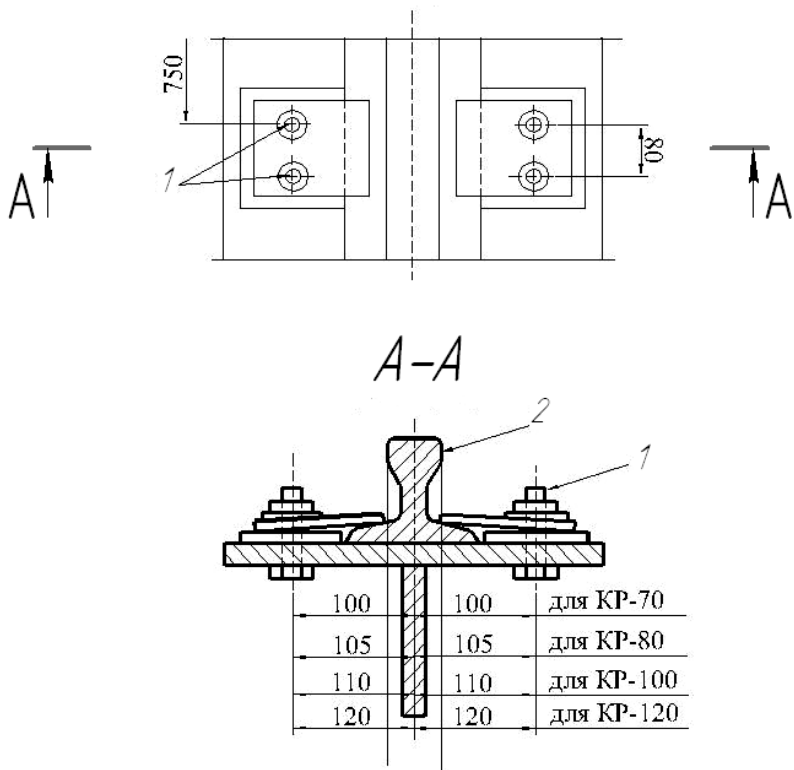


Рис. 6.12. Схема крепления кранового рельса к поясу подкрановой балки:
 1 – болты 22; 2 – крановый рельс КР

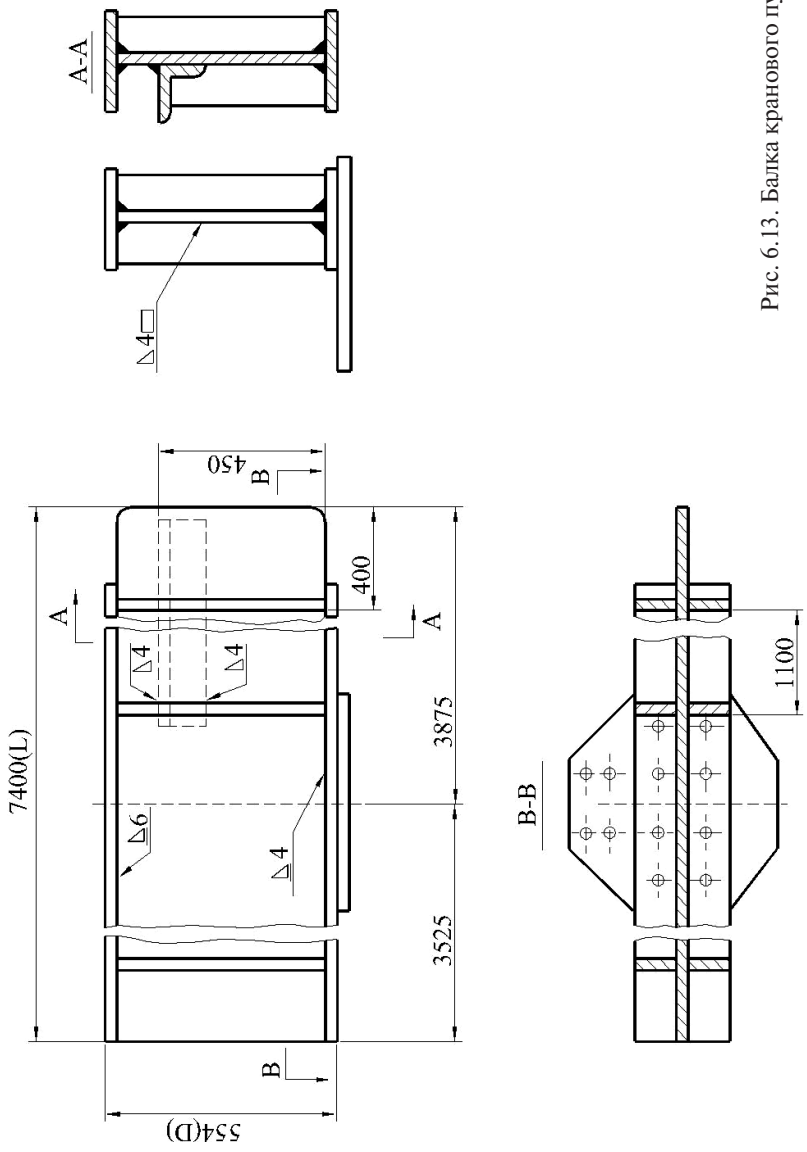


Рис. 6.13. Балка кранового пути

Конструктивное оформление сварных колонн (стоек)

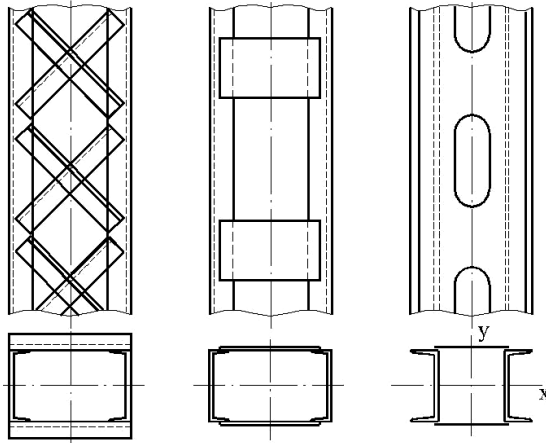


Рис. 7.1. Типы решеток сквозных колонн

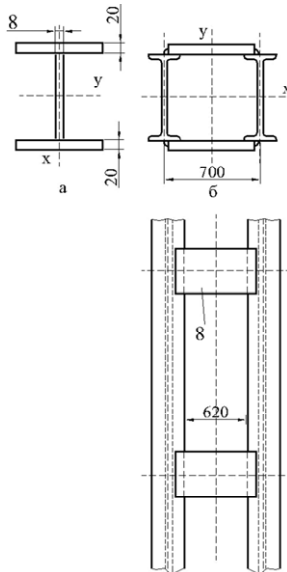


Рис. 7.2. Сечение центрально-сжатых колонн: *а* – сечение сплошной колонны; *б* – сечение и фрагмент сквозной колонны на планках

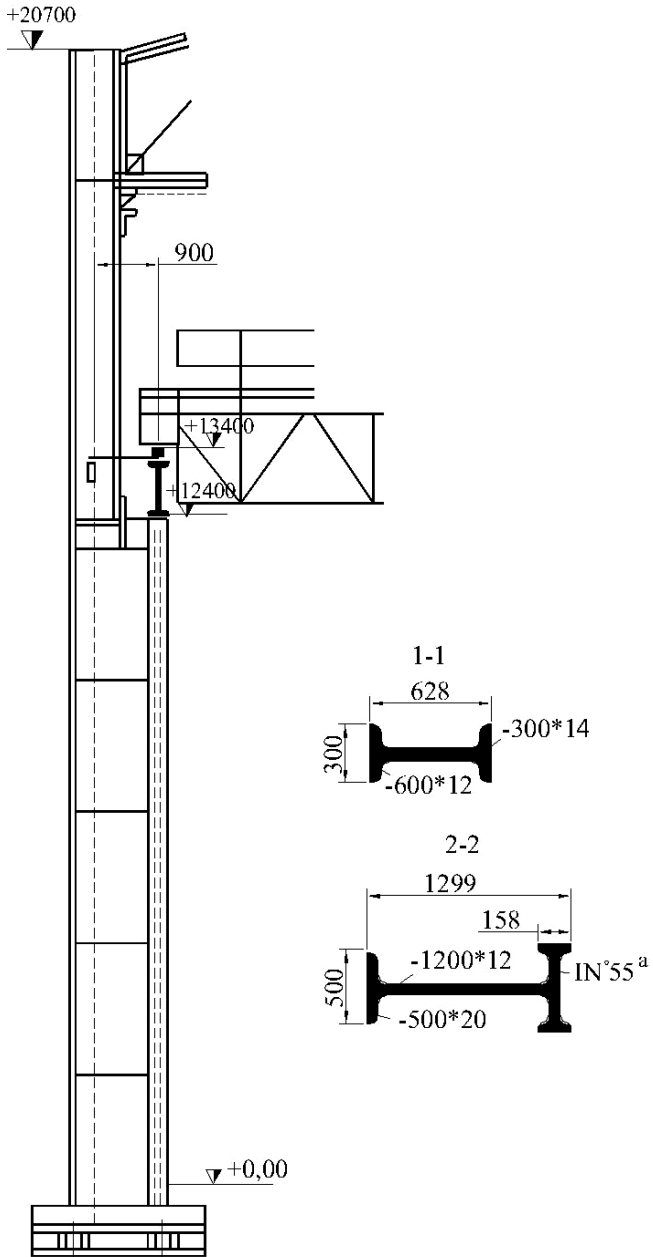


Рис. 7.3. Пример сплошной наружной колонны

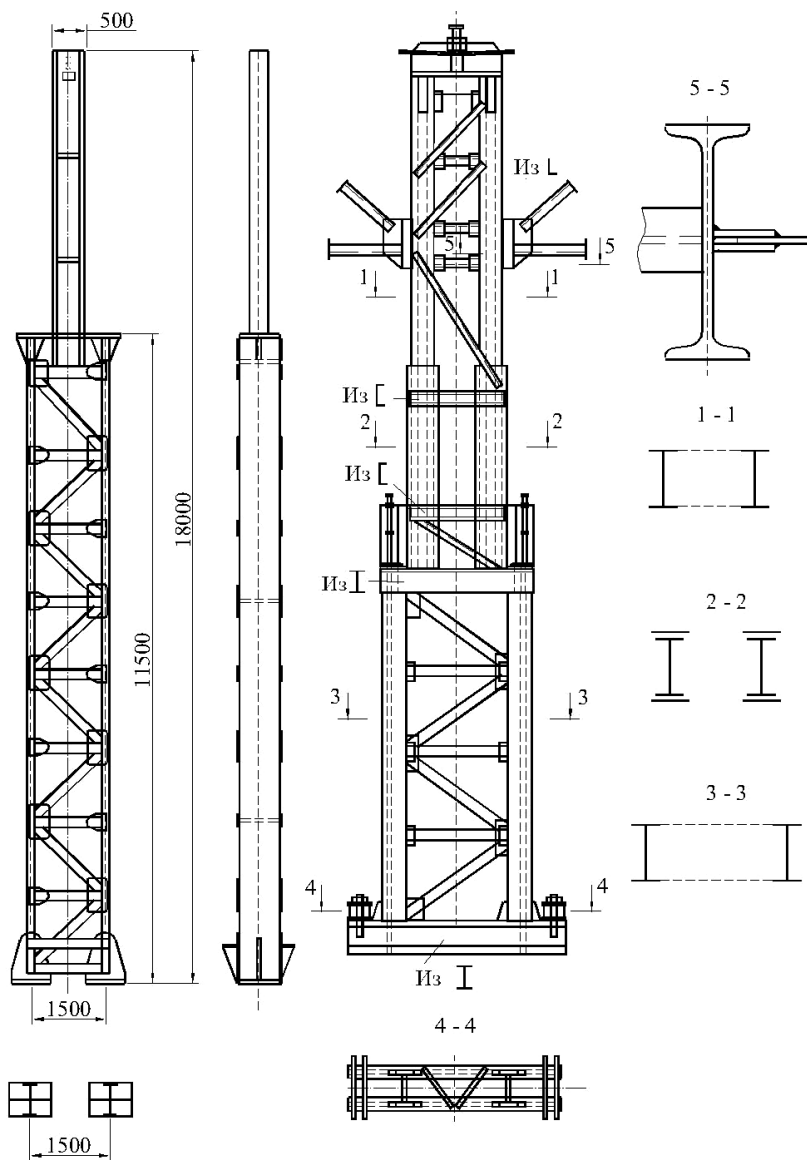


Рис. 7.4. Примеры ступенчатых колонн средних рядов цеха

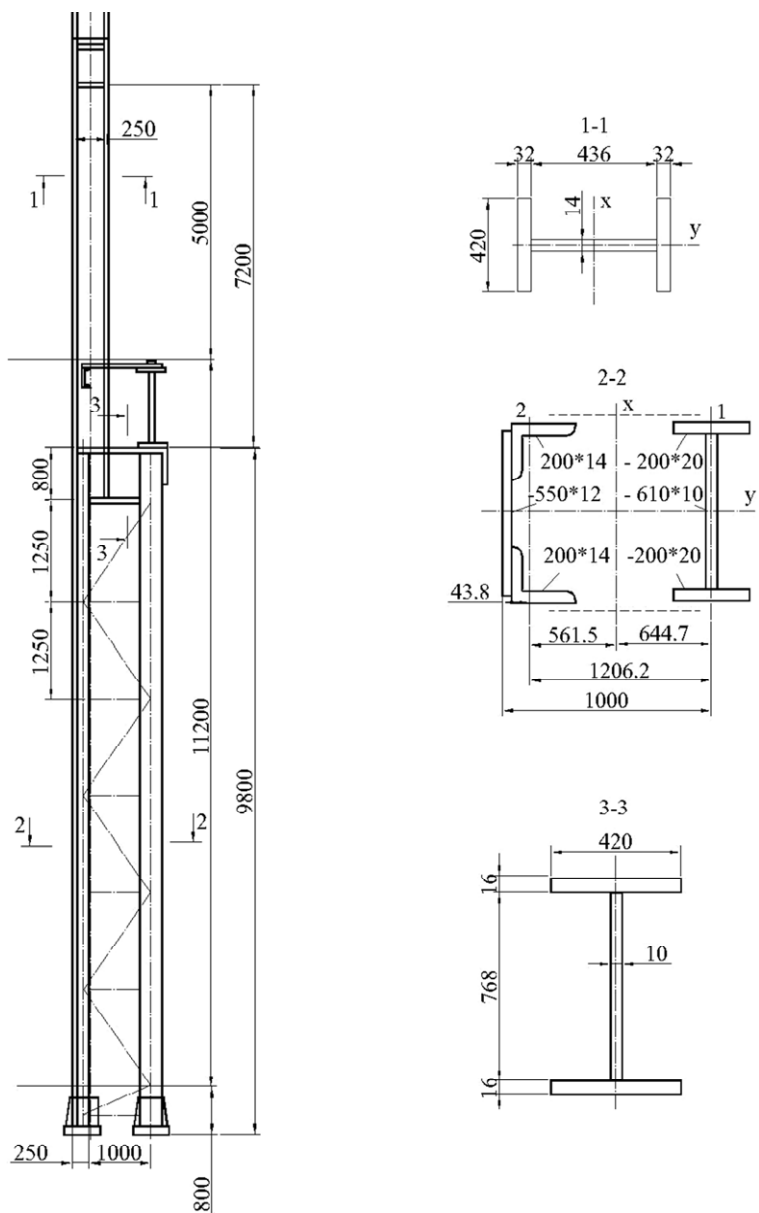


Рис. 7.5. Пример ступенчатой колонны

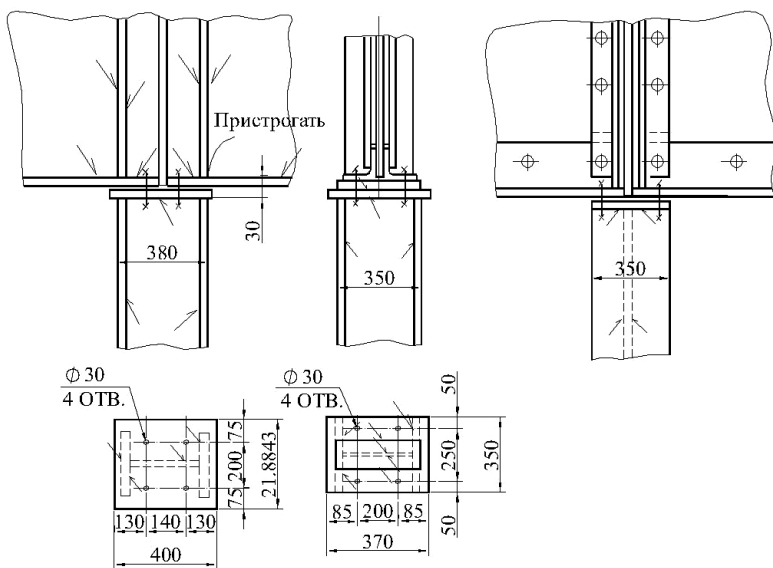


Рис. 7.6. Свободное опирание балок на колонну сверху

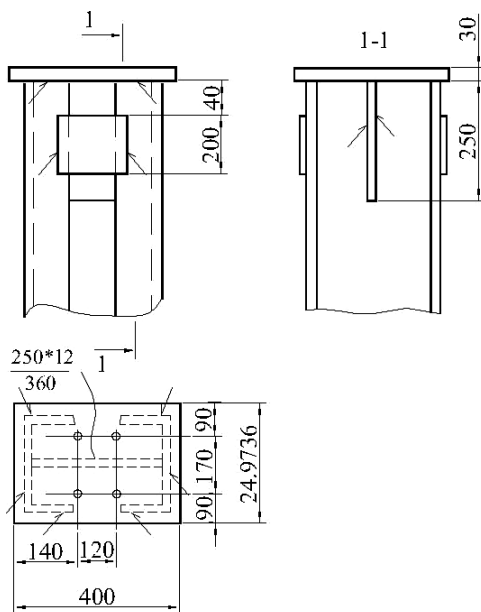


Рис. 7.7. Оголовок сквозной сварной колонны

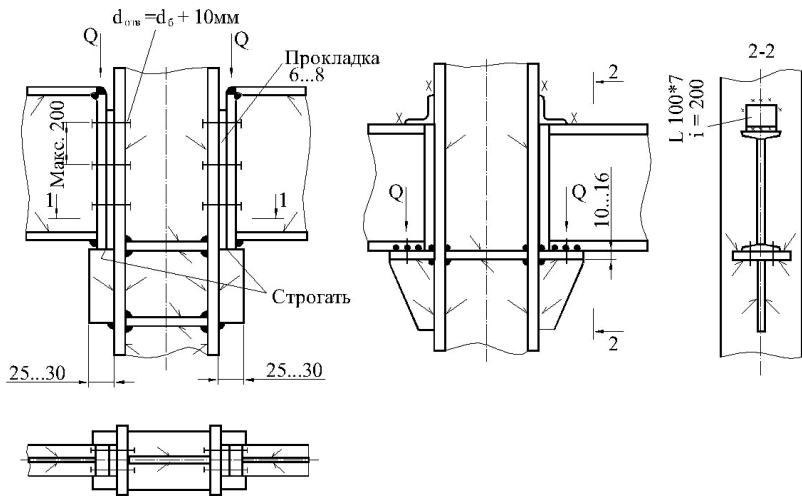


Рис. 7.8. Узлы примыкания балок к колоннам сбоку

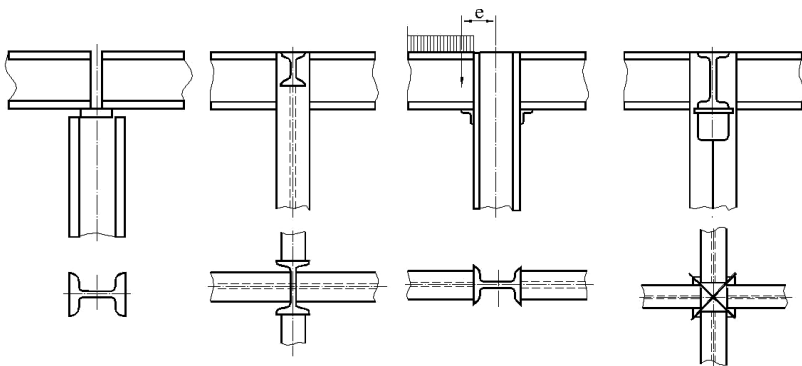


Рис. 7.9. Схема сопряжения балок с одноярусной колонной

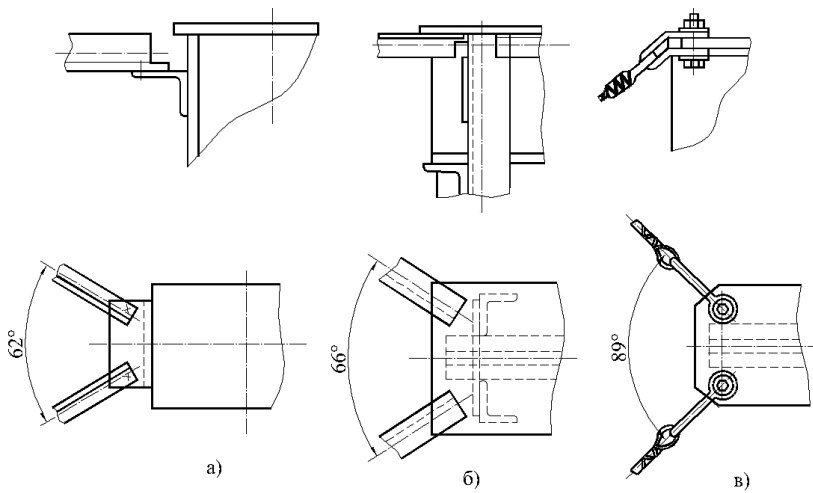


Рис. 7.10. Варианты закрепления оголовков колонн

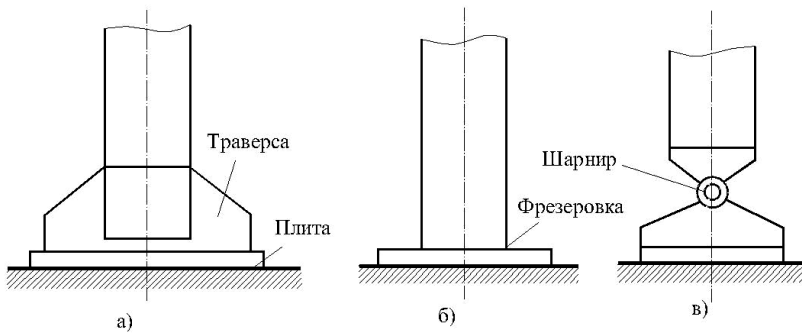


Рис. 7.11. Схемы баз колонн

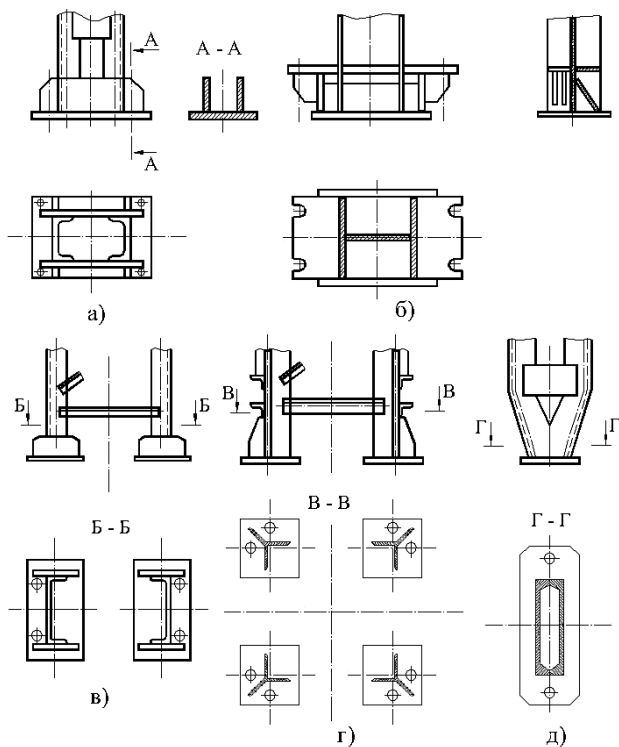


Рис. 7.12. Конструкции баз сварных колонн

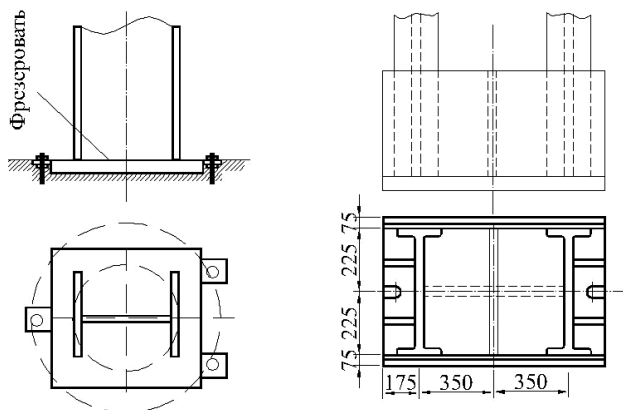


Рис. 7.13. Базы центрального сжатия колонн: а – с фрезерованным торцом; б – с распределительной конструкцией

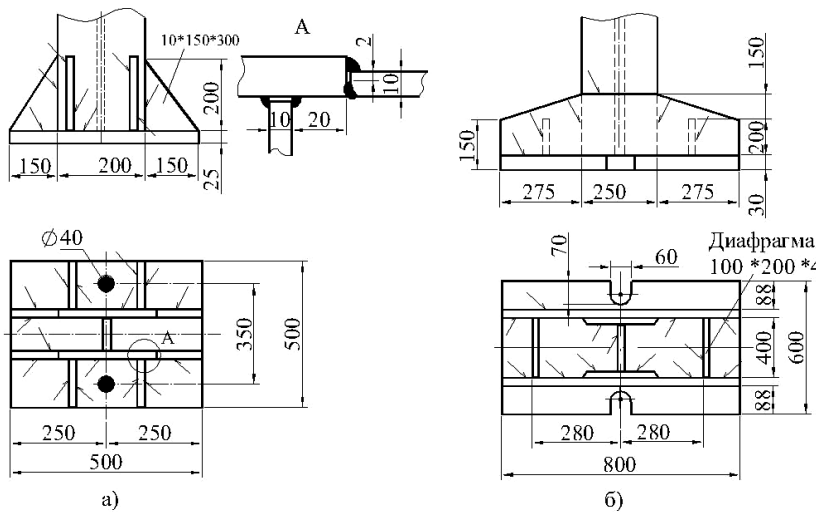


Рис. 7.14. Сварная база: *а* – с треугольными ребрами;
б – с траверсой из листов

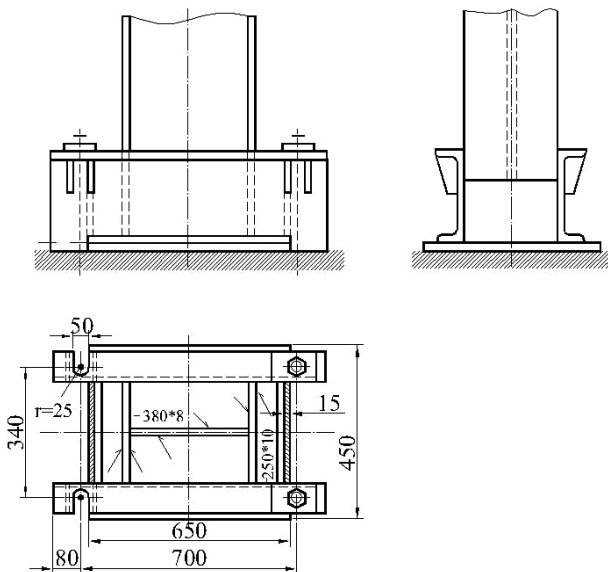


Рис. 7.15. База с траверсой из двух швеллеров

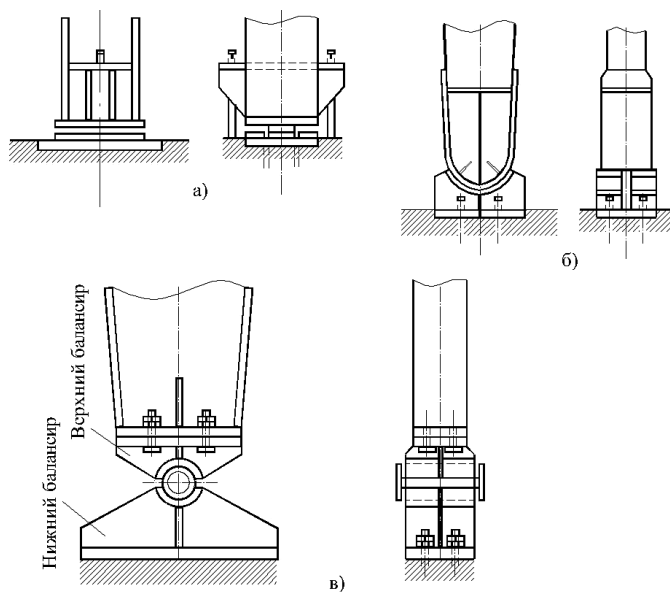


Рис. 7.16. Опорные шарниры: *а* – плиточный; *б* – пятиконовый; *в* – балансирный

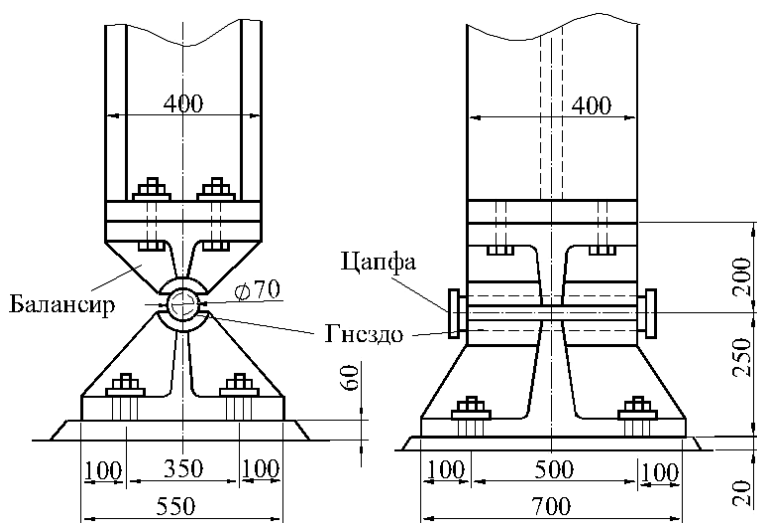


Рис. 7.17. Шарнирное опирание колонны через балансир

Оформление сварных листовых конструкций

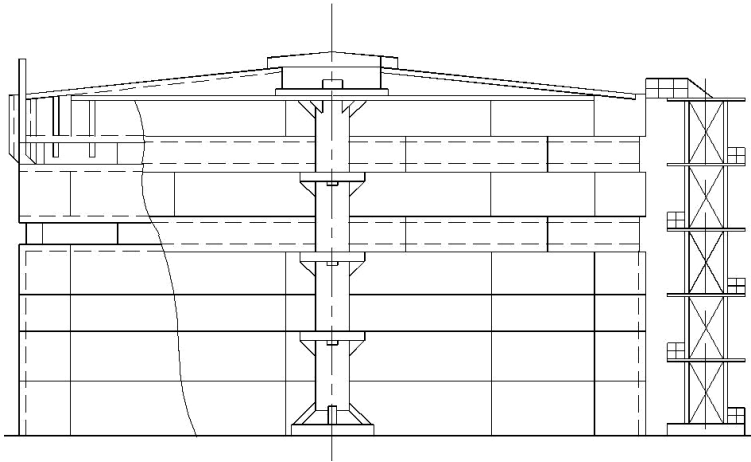


Рис. 8.1. Общий вид вертикального резервуара с плоским дном

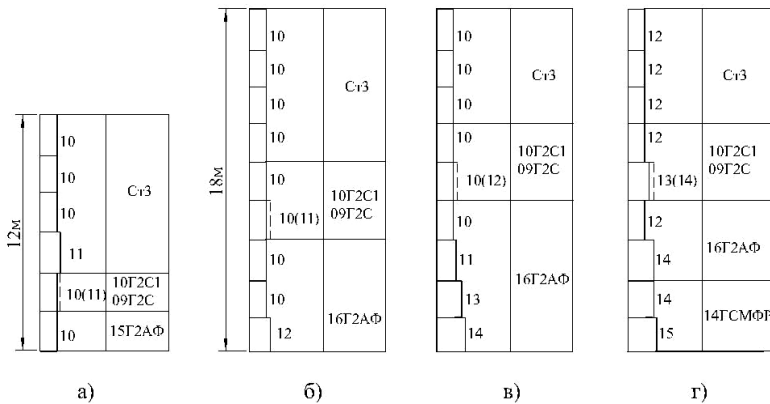


Рис. 8.2. Компонка стенок вертикальных резервуаров из стали различной прочности объемом: а – 20 тыс. м³, высотой 12 м; б – 20 тыс. м³, высотой 18 м; в – 30 тыс. м³; г – 50 тыс. м³

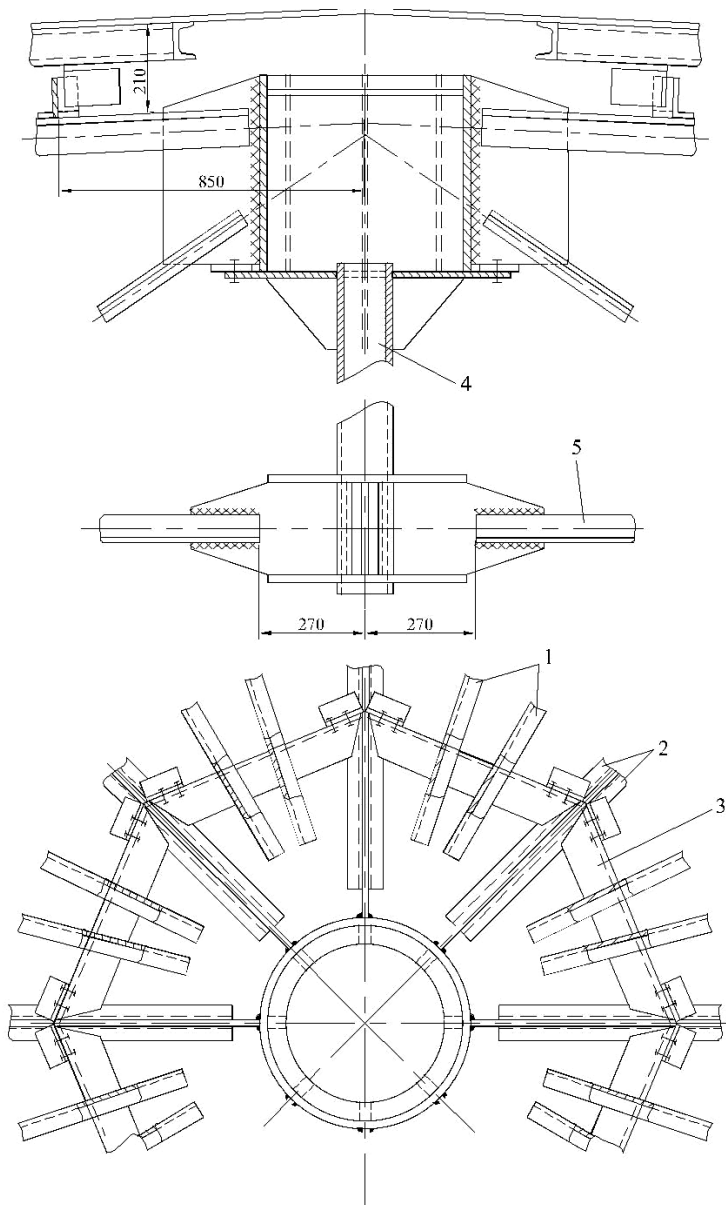


Рис. 8.3. Центральный узел каркасного конического покрытия вертикального резервуара: 1 – радиальные балки; 2 – верхний пояс полуферм; 3 – прогоны из уголков; 4 – центральная трубчатая стойка; 5 – нижний пояс полуферм

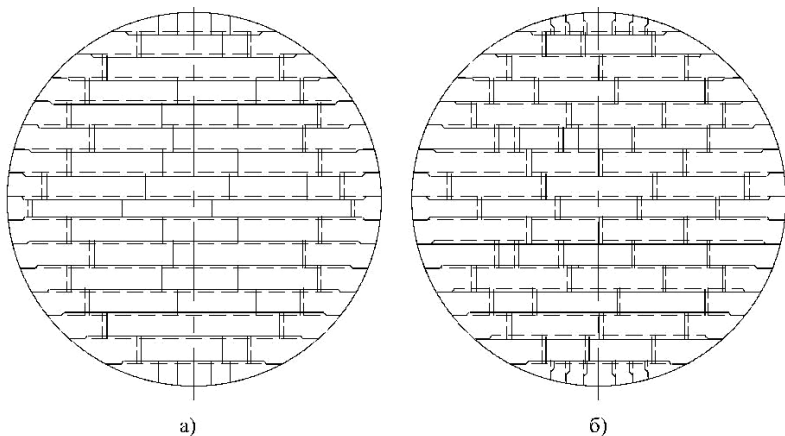


Рис. 8.4. Конструкция плоского дна вертикального цилиндрического резервуара: *а* – соединение листов в полосе встык и полос между собой внахлестку; *б* – соединение листов в полосе и полос между собой внахлестку

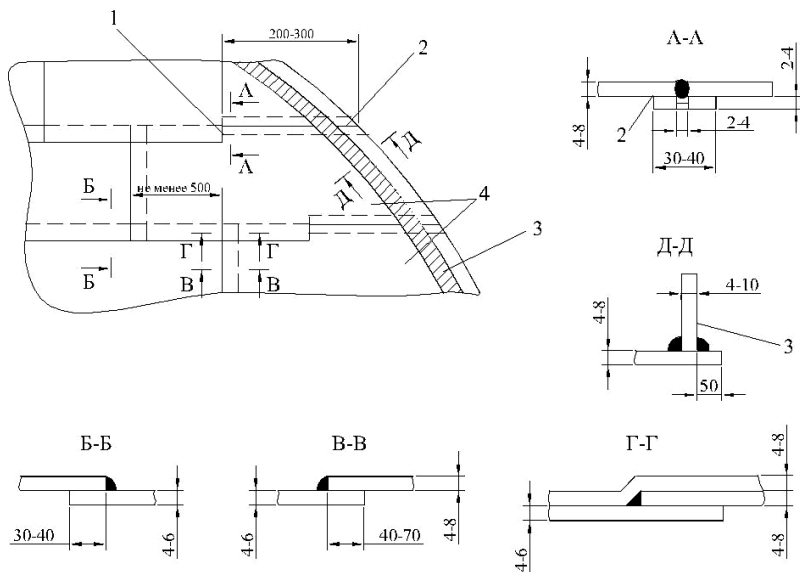


Рис. 8.5. Конструкция крайней части дна у примыкания корпуса:
1 – вырезка; *2* – подкладка; *3* – нижний пояс корпуса; *4* – окрайки дна

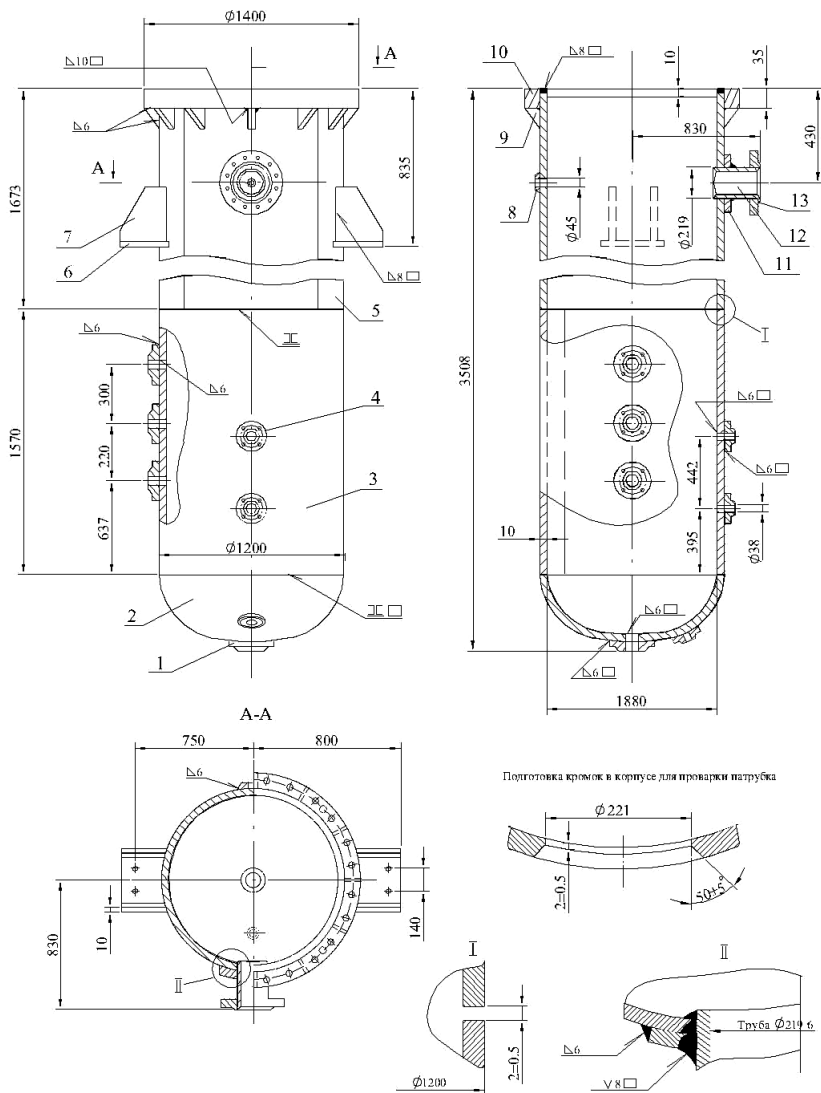


Рис. 8.6. Корпус подогревателя высокого давления: 1 – фланец; 2 – днище; 3 – обечайка нижняя; 4 – фланец; 5 – обечайка верхняя; 6 – плита опорной лапы; 7 – ребро опорной лапы; 8 – наварыш; 9 – ребро; 10 – фланец; 11 – накладка; 12 – патрубок; 13 – фланец

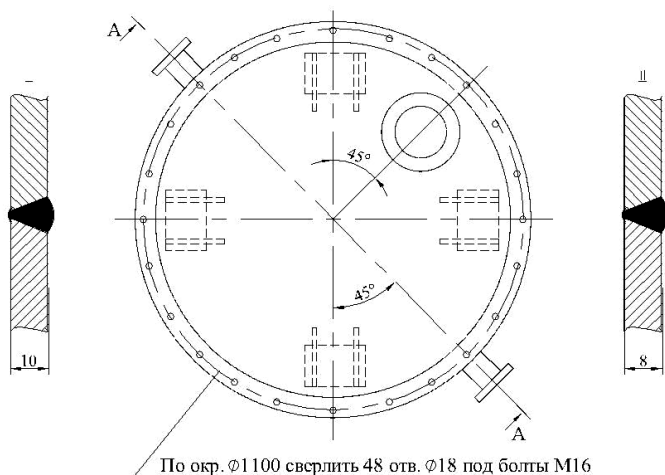
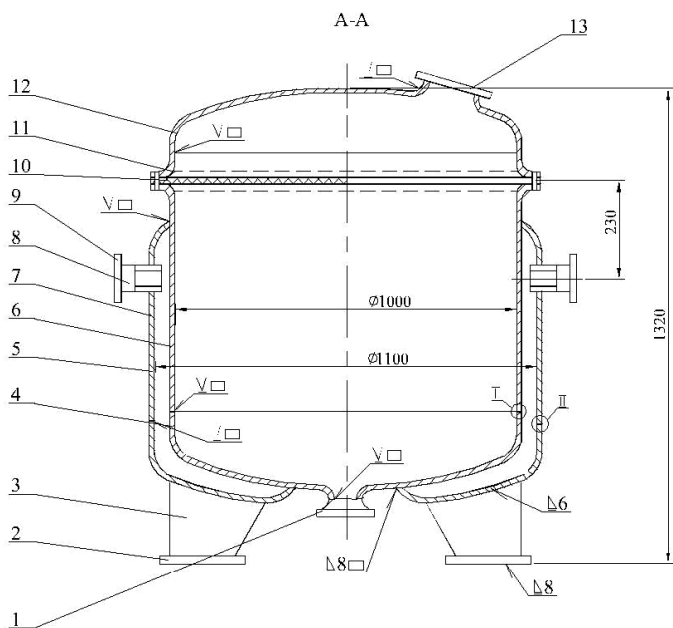


Рис. 8.7. Корпус вертикального варочного аппарата ВВ3-500 для выработки пищевых химикатов: 1 – штуцер; 2 – основание лапы; 3 – ребро лапы; 4 – днище аппарата; 5 – днище рубашки; 6 – обечайка аппарата; 7 – обечайка рубашки; 8 – патрубок; 9 – фланец; 10 – прокладка; 11 – соединительное кольцо; 12 – крышка; 13 – штуцер

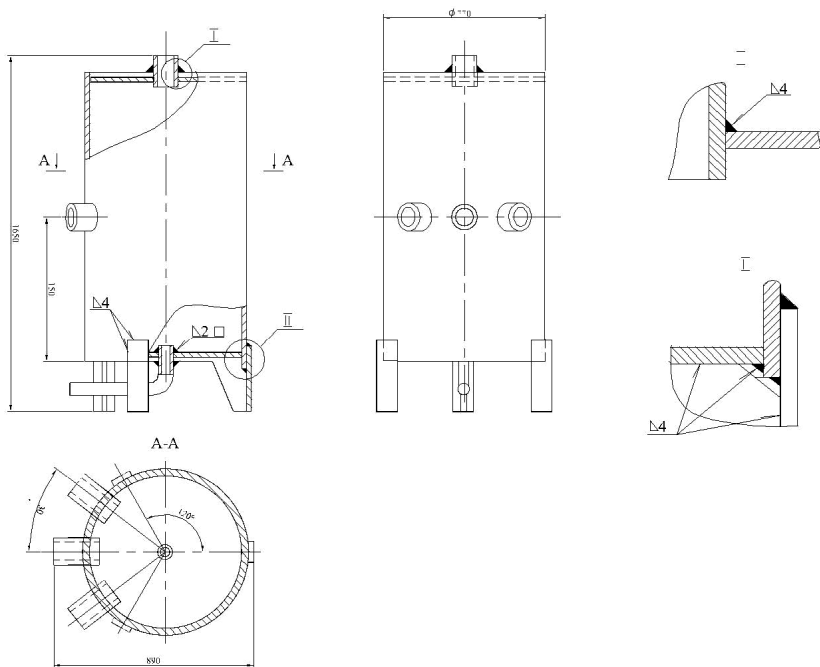


Рис. 8.8. Корпус расширителя

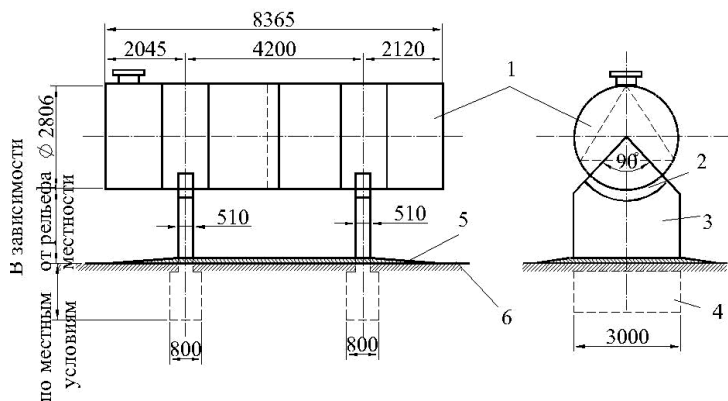


Рис. 8.9. Горизонтальный резервуар с плоскими днищами на седловых опорах: 1 – резервуар; 2 – гидроизоляционная прокладка; 3 – седловая опора; 4 – фундамент; 5 – глиняная отсыпка; 6 – утрамбованный грунт

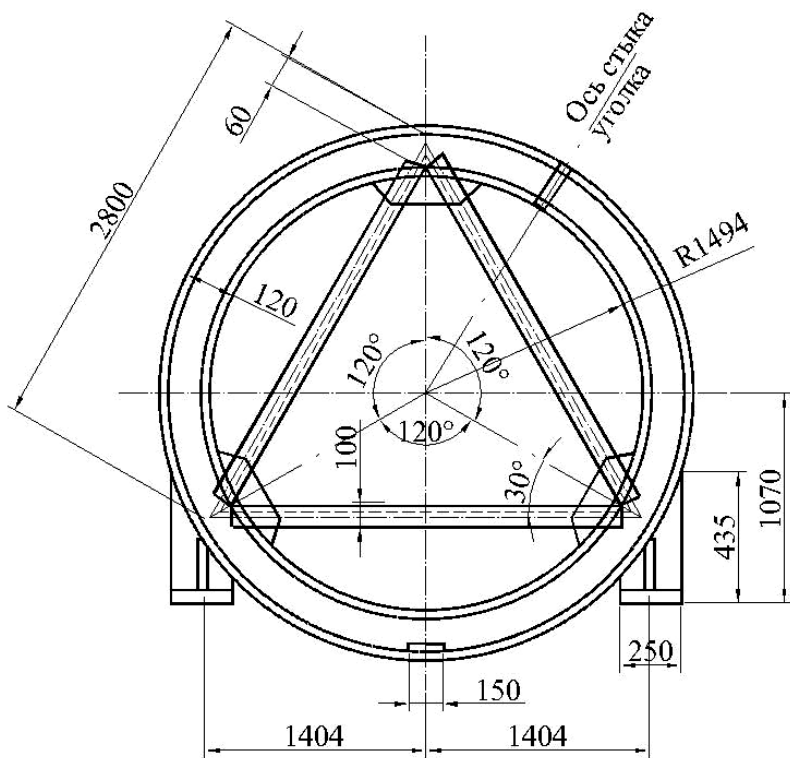


Рис. 8.10. Опорная диафрагма горизонтального резервуара

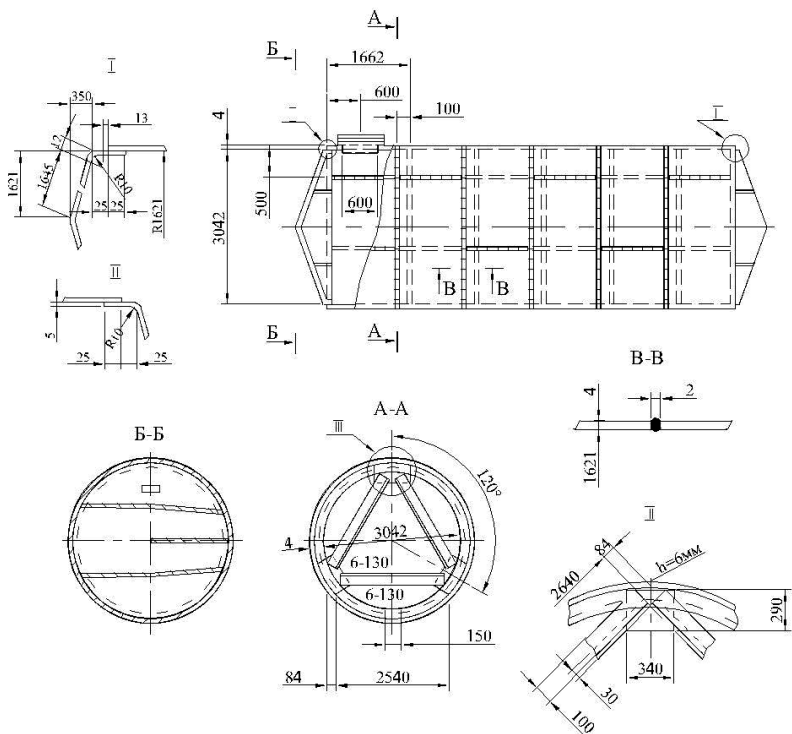


Рис. 8.11. Горизонтальный цилиндрический резервуар с коническим дном

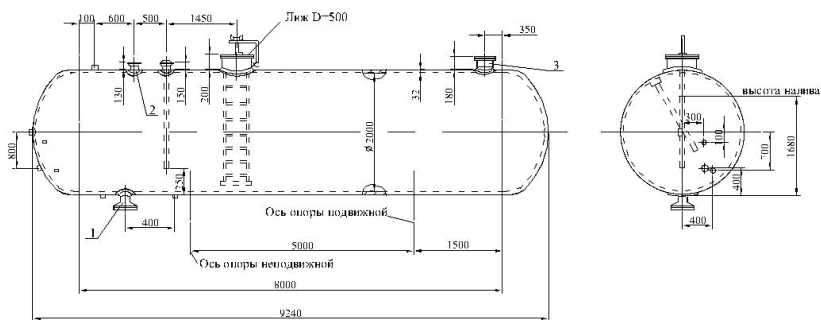


Рис. 8.12. Горизонтальный резервуар со сферическими отбортованными днищами для сжиженного пропана:
 1 – сливной патрубком $D = 150$ мм; 2 – приемный патрубком $D = 80$ мм;
 3 – вентиляционный патрубком $D = 200$ мм

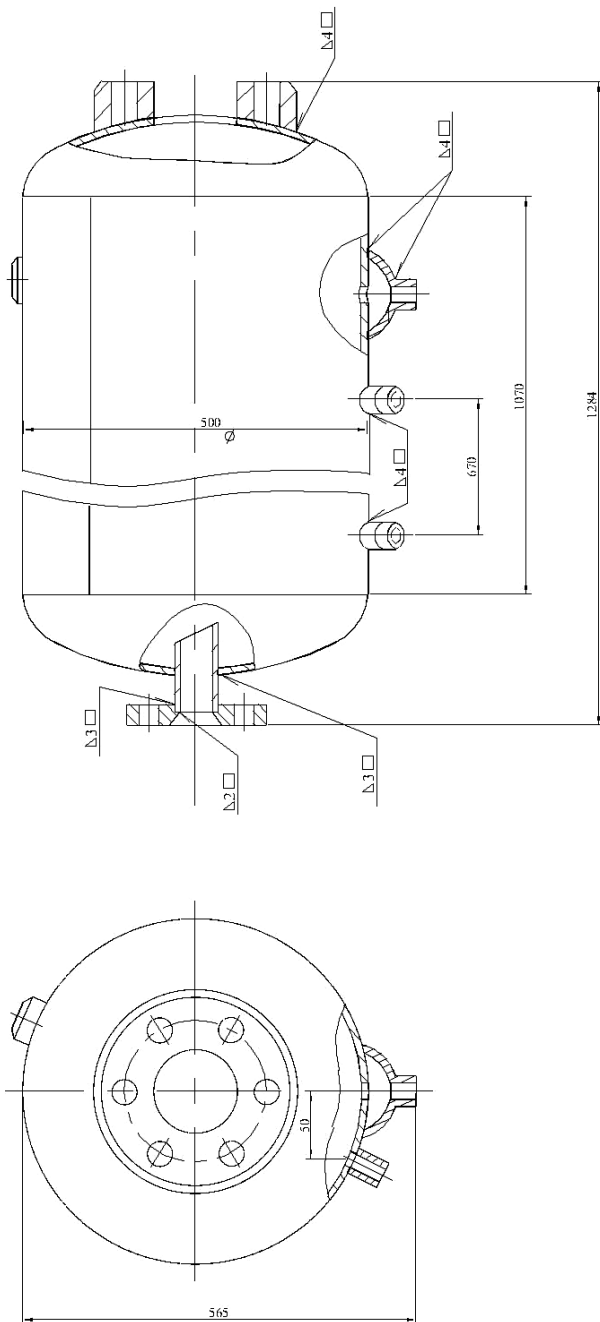


Рис. 8.13. Корпус воздухоборника

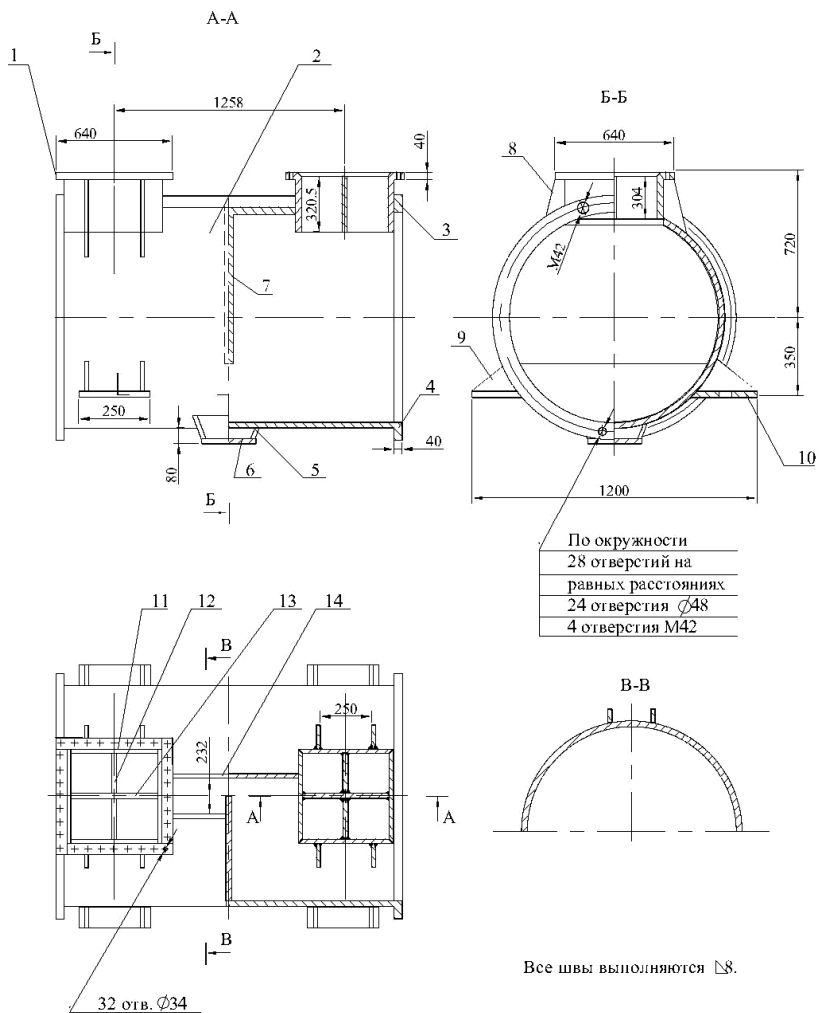


Рис. 8.14. Корпус воздухоохлаждителя турбокомпрессорной установки:
 1 – фланец; 2 – обечайка; 3 – ребро; 4 – фланец; 5 – стенка сборника;
 6 – доньшко; 7 – перегородка; 8 – ребро; 9 – ребро; 10 – опорная плита;
 11 – стенка; 12 – диафрагма; 13 – диафрагма; 14 – ребро

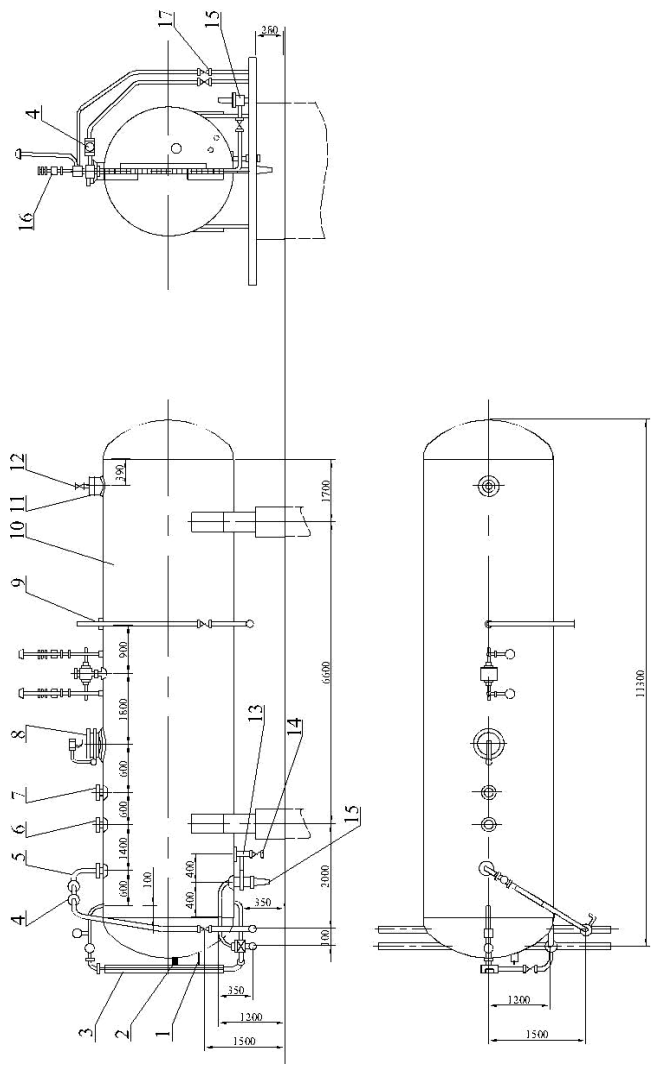


Рис. 8.15. Оборудование цилиндрического резервуара для сжиженных углеводородных газов: 1 – карман для термометра; 2 – вентиль для отбора пробы; 3 – указатель уровня жидкой фазы; 4 – обратный клапан; 5 – трубопровод для заполнения резервуара; 6 – штуцер для манометра; 7 – указатель уровня предельного уровня; 8 – люк для осмотра резервуара; 9 – трубопровод паровой фазы; 10 – резервуар; 11 – люк для вентиляции резервуара; 12 – кран проходной стальной $D_y = 50$ мм; 13 – клапан дренажный незамерзающий; 14 – вентиль запорный $D_y = 40$ мм; 15 – скоростной клапан на расходном трубопроводе; 16 – предохранительные клапаны; 17 – кран проходной стальной $D_y = 80$ мм

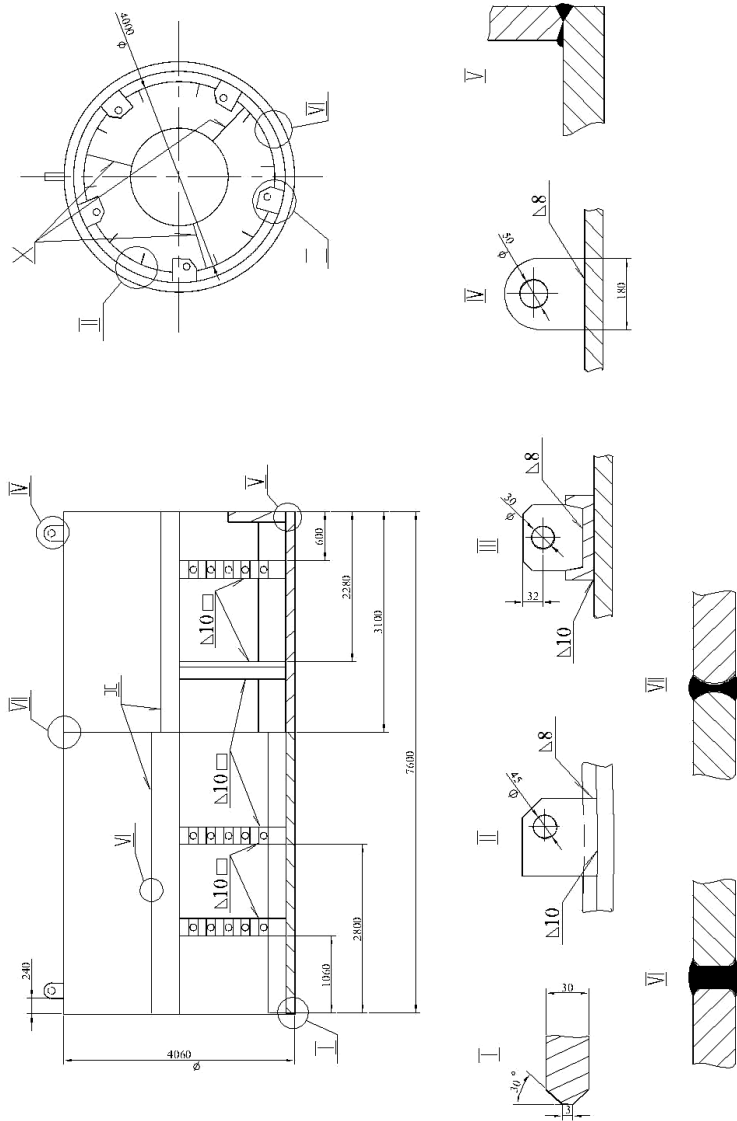


Рис. 8.16. Узел корпуса цементной печи

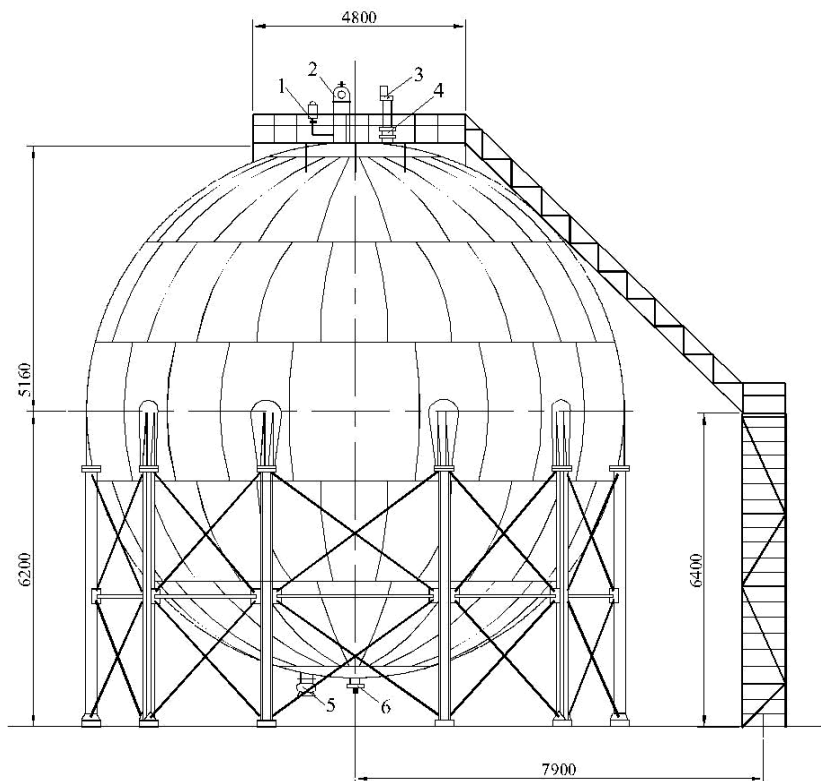


Рис. 8.17. Шаровой резервуар емкостью 600 м³ с давлением 0,2 МПа:
 1 – узел дыхательной арматуры; 2 – поплавковый указатель уровня;
 3 – прибор совмещенной конструкции (шлюзовая камера)
 для замера уровня, температуры нефтепродукта и отбора проб;
 4 – быстродействующая задвижка; 5 – приемный и раздаточный патрубки;
 6 – дренажный кран

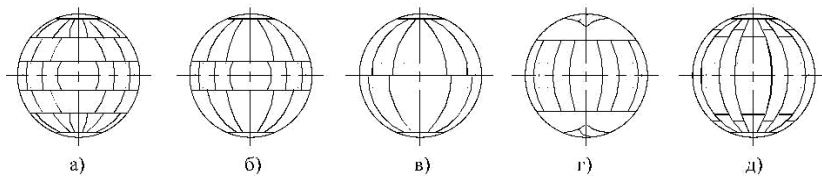


Рис. 8.18. Известные схемы раскроя сферического резервуара

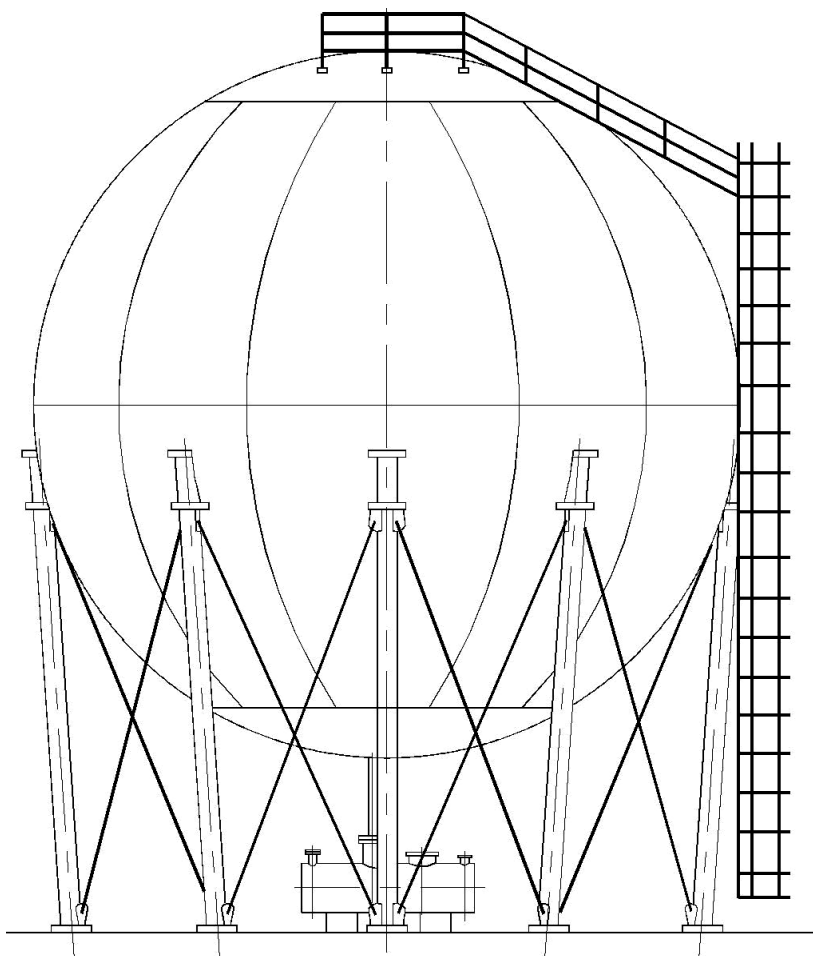


Рис. 8.19. Газгольдер сферический емкостью 600 м³

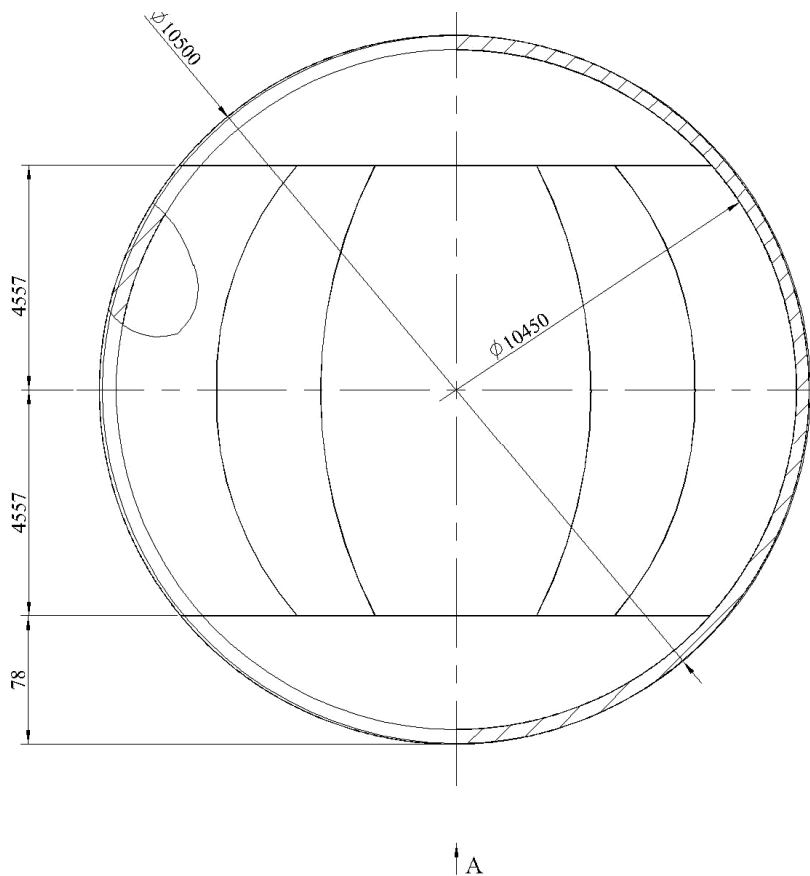


Рис. 8.20. Корпус газгольдера сферического

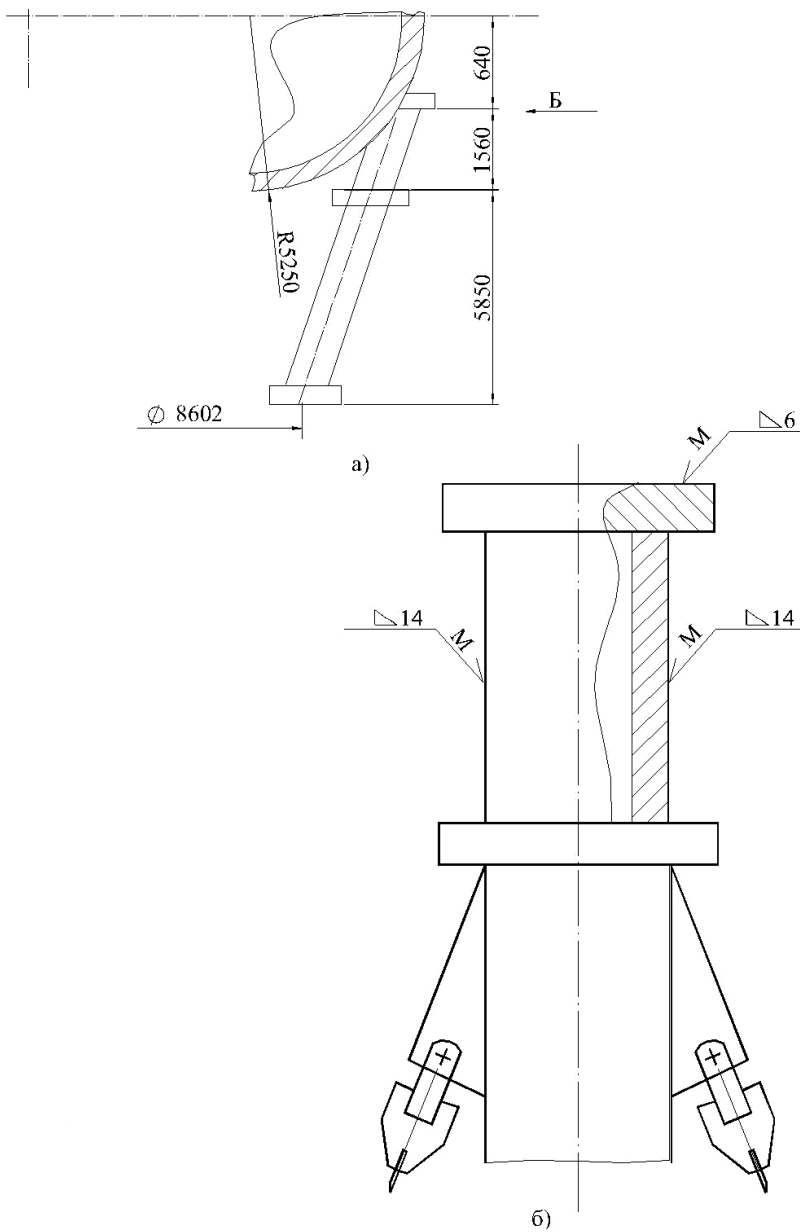


Рис. 8.21. Стойка газгольдера сферического

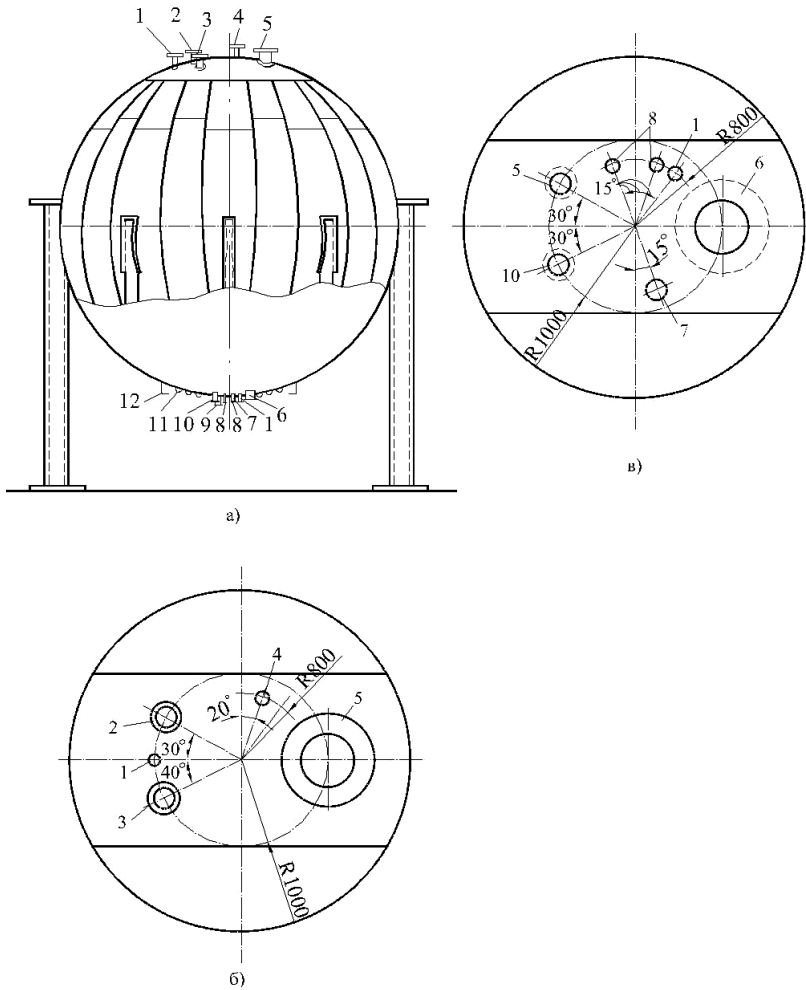


Рис. 8.22. Оборудование сферического резервуара для сжиженных углеводородных газов: *а* – штуцеры; *б* – купольная часть; *в* – днище; *1–4* – штуцеры для: *1* – манометра; *2* – сигнализатора верхнего уровня; *3* – предохранительного клапана; *4* – отбора проб; *5* – люк с пробкой для пропарки сверху; *6* – лаз с пробкой для пропарки снизу; *7–11* – штуцеры для: *7* – незамерзающего клапана; *8* – термометра; *9, 10* – приемо-раздаточных устройств; *11* – змеевика подогрева днища; *12* – кольцо для крепления утеплителя

Сварные узлы машиностроительных конструкций

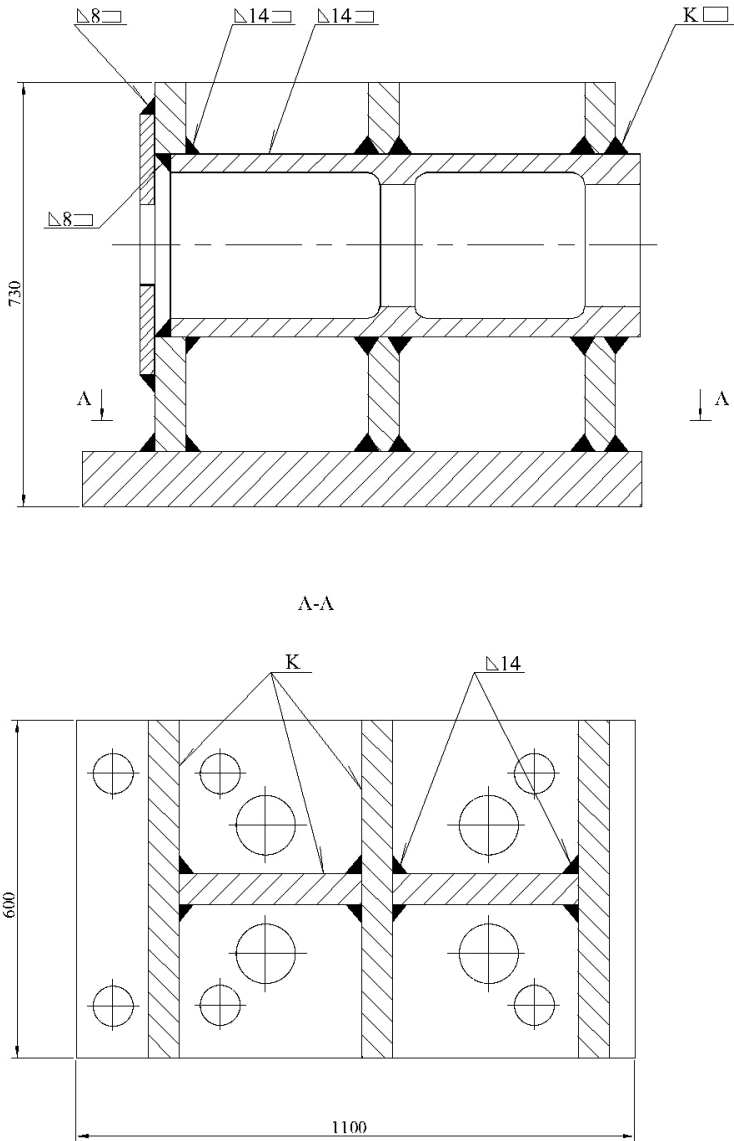


Рис. 9.1. Корпус выдвжного подхвата

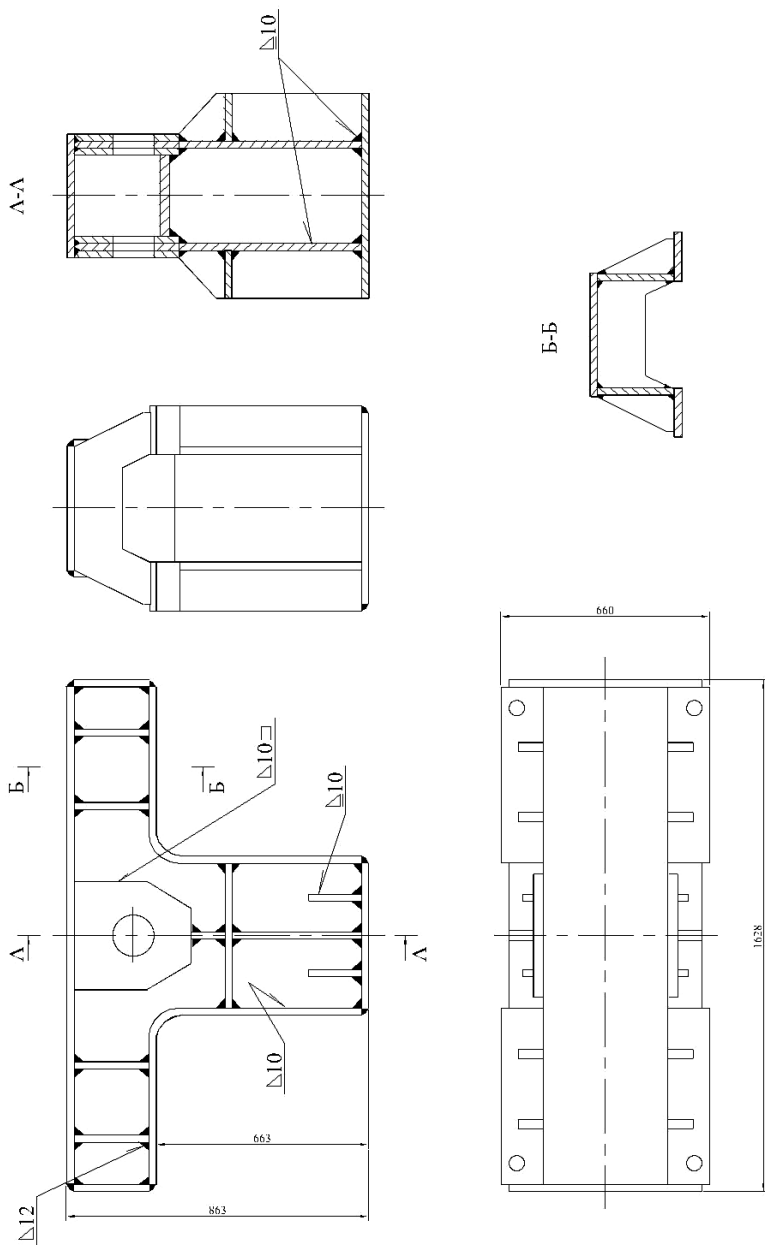


Рис. 9.2. Корпус балансира

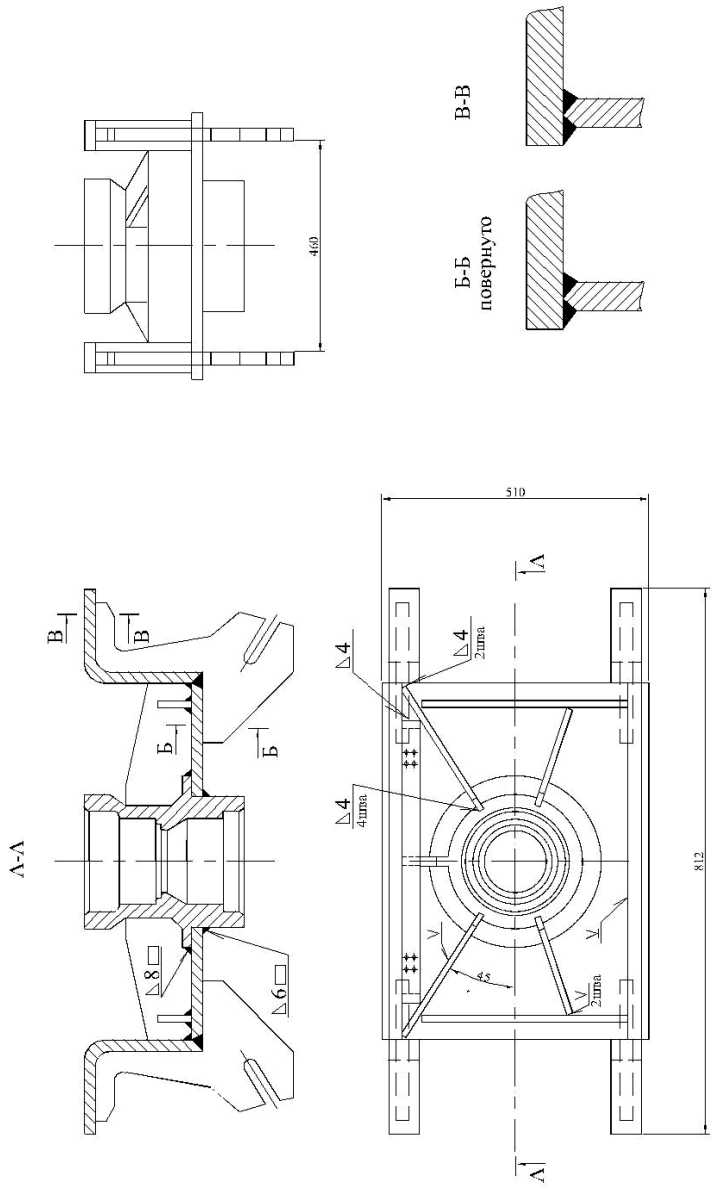


Рис. 9.3. Основание крана

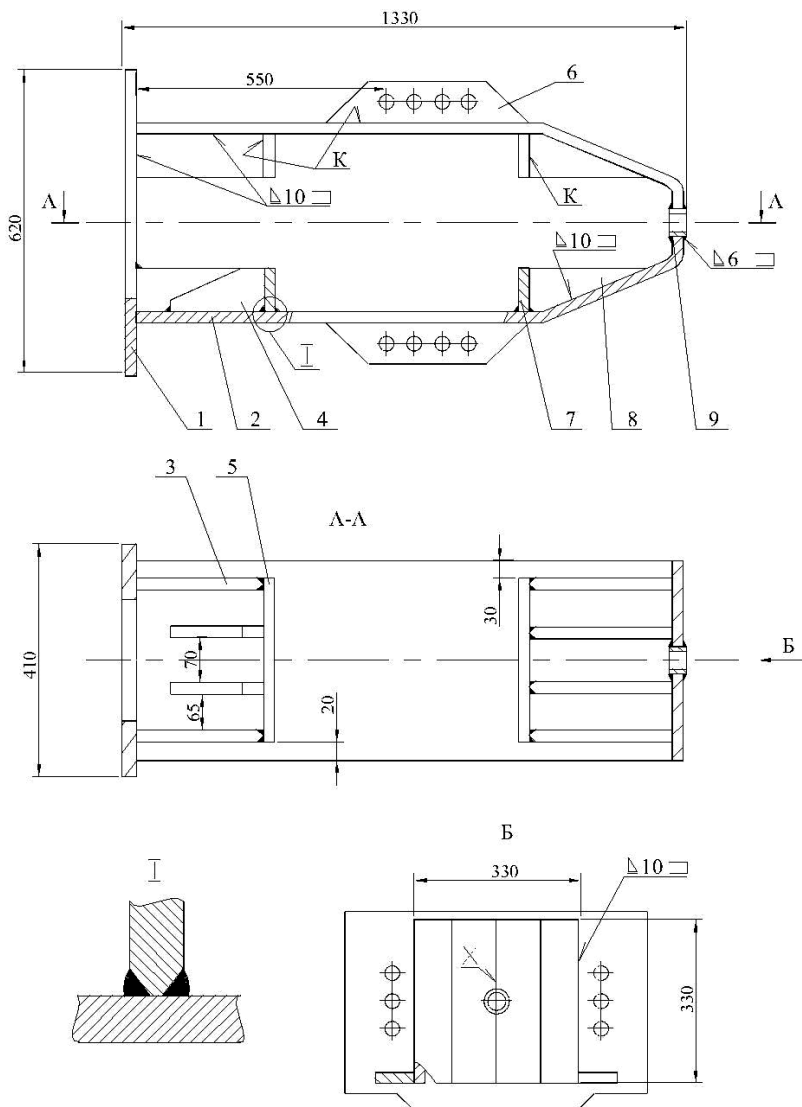


Рис. 9.4. Направляющая аппарата автосцепки: 1 – лист лобовой; 2 – лист боковой; 3 – ребро; 4 – косынка; 5 – ребро; 6 – фасонка; 7 – ребро; 8 – ребро; 9 – втулка

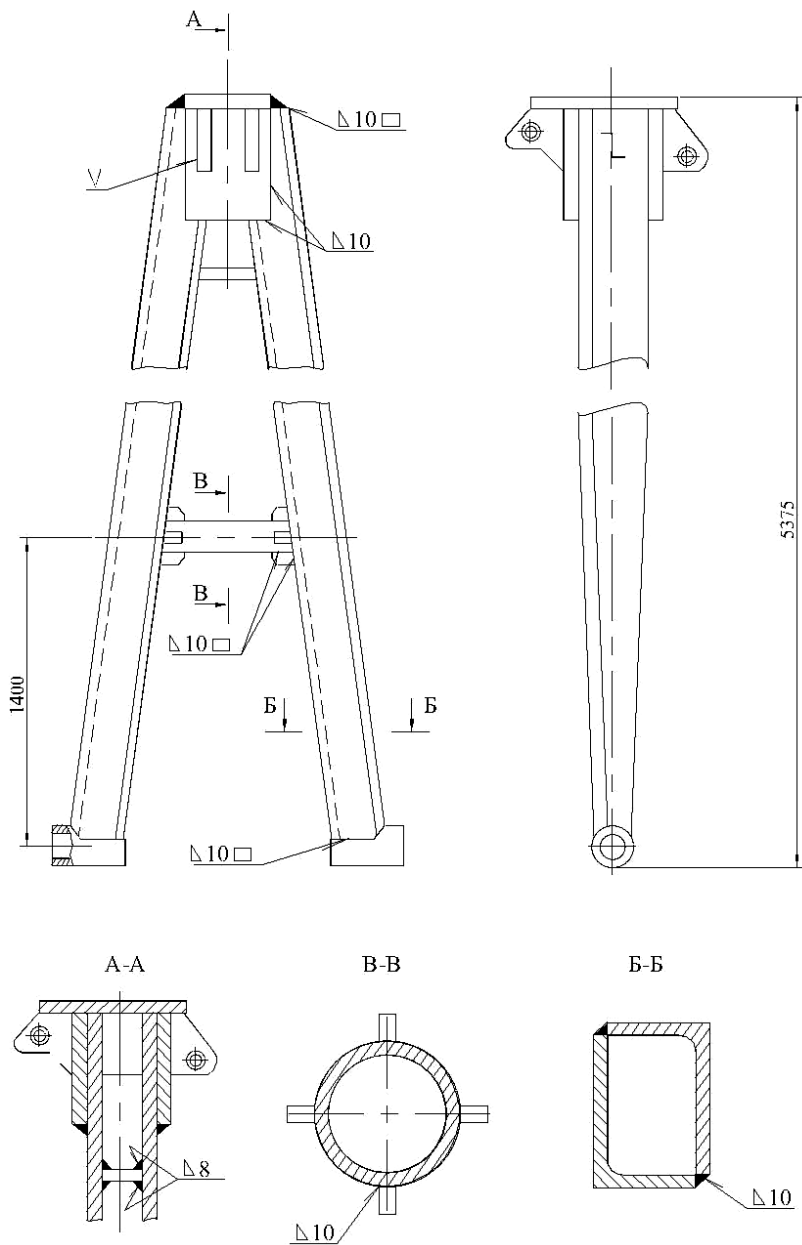


Рис. 9.5. Труба трубоукладчика ТЛГ-10

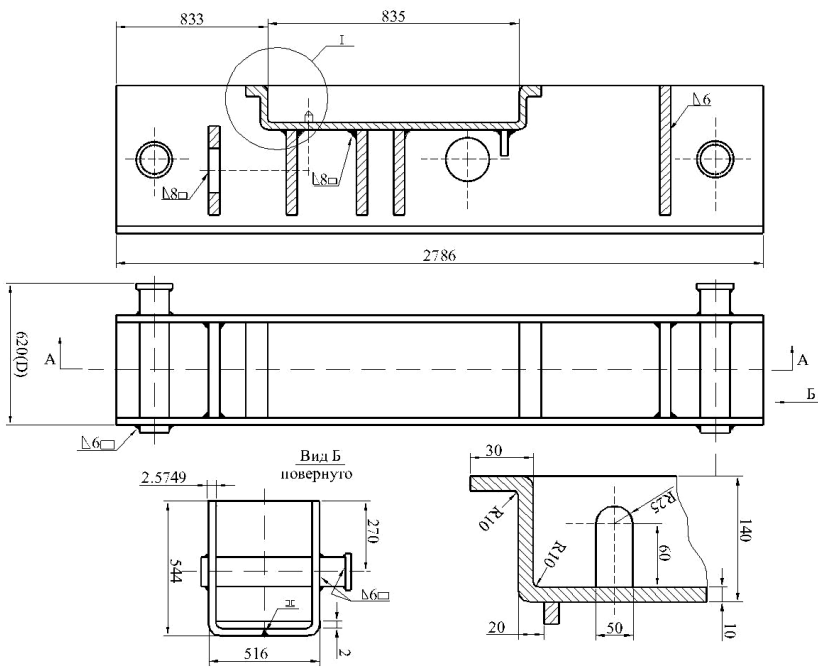


Рис. 9.6. Редукторная балка тележки